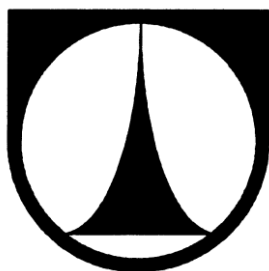


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ



Katedra vozidel a motorů

**MOBILNÍ UPEVNŮVACÍ ZAŘÍZENÍ PRO SPALOVACÍ
MOTORY O ZDVIHOVÉM OBJEMU 3 - 6 dm³**

**MOBILE MOUNTING DEVICE FOR INTERNAL
COMBUSTION ENGINES WITH A DISPLACEMENT OF
3 – 6 dm³**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Zdeněk VÍT

Květen 2012

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ



Katedra vozidel a motorů

Obor 23 – 17 – 8

Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření

Dopravní stroje a zařízení

**MOBILNÍ UPEVNŮVACÍ ZAŘÍZENÍ PRO SPALOVACÍ
MOTORY O ZDVIHOVÉM OBJEMU 3 – 6 dm³**

**MOBILE MOUNTING DEVICE FOR INTERNAL
COMBUSTION ENGINES WITH A DISPLACEMENT OF
3 – 6 dm³**

Bakalářská práce

KVM – BP – 279

Zdeněk Vít

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Petr Starý

Počet stran: 54

Počet obrázků: 32

Počet příloh: 1

Počet výkresů: 12

Květen 2012

Místo pro vložení originálního zadání DP (BP)

Mobilní upevňovací zařízení pro spalovací motory o zdvihovém objemu 3 – 6 dm³

Anotace

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku připojování pístových spalovacích motorů o zdvihovém objemu 3 – 6 dm³ k motorové brzdě. Cílem této práce je navrhnout konstrukční řešení mobilního upevňovacího zařízení, které zjednoduší a zefektivní připojení motoru k dynamometru.

Klíčová slova: mobilní upevňovací zařízení, motorová brzda, pístový spalovací motor

Mobile mounting device for internal combustion engines with a displacement of 3 – 6 dm³

Annotation

The bachelor thesis is focused on the issues of connecting internal combustion engines with a displacement of 3 – 6 dm³ to motor brake. Objective of this bachelor thesis is to design of solutions mobile mounting device which simplifies and makes more effective connection of engine to dynamometer.

Key words: mobile mounting device, motor brake, internal combustion engine

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů

Dokončeno : 2012

Archivní označení zprávy:

Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V dne

.....

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych předem rád poděkoval vedoucímu mé práce, prof. Ing. Celestýnu Scholzovi, PhD., za cenné rady a připomínky při tvorbě této bakalářské práce. Dále děkuji kolektivu z laboratoře katedry vozidel a motorů, který mi pomohl a poskytl důležité informace k vypracování této práce.

V neposlední řadě děkuji celé své rodině za jejich velkou podporu a trpělivost při mém studijním úsilí.

Seznam symbolů a jednotek

λ_k	klikový poměr	[-]
ω	úhlová rychlost	[rad/s]
ψ	součinitel přetížitelnosti spoje	[-]
τ_d	dovolené smykové napětí	[MPa]
σ_{dov}	dovolené napětí	[MPa]
σ_{max}	maximální napětí	[MPa]
γ	úhel stoupání závitu	[°]
φ_z'	třecí úhel	[°]
λ	poměrná štíhlost	[-]
σ_{krit}	kritické napětí	[MPa]
F_{p2}	setrvačná síla posuvných hmot II. řádu	[N]
r	poloměr klikové hřídele	[m]
n	otáčky motoru	[1/min]
m_p	hmotnost posuvných hmot	[kg]
m_o	hmotnost ojnice	[kg]
m_{pk}	hmotnost pístních kroužků	[kg]
$m_{pč}$	hmotnost pístního čepu	[kg]
m_{pi}	hmotnost pístu	[kg]
R_i	silové reakce	[N]
M_t	točivý moment	[N.m]
G	tíhová síla motoru	[N]
G_r	tíhová síla rámu	[N]
l_i	délka nosníku	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
J_y	kvadratický moment k ose y	[mm ⁴]
W_o	průřezový modul v ohybu	[mm ³]
k	bezpečnost	[-]

R_m	pevnost v tahu	[MPa]
R_e	mez kluzu	[MPa]
$T_i(x)$	tečná síla v závislosti na x	[N]
$M_i(x)$	momenty v závislosti na x	[N.m]
$W_i(x)$	průhyb v závislosti na x	[mm]
k_w	bezpečnost přenosu	[-]
F_c	celková provozní síla	[N]
i_s	počet šroubových spojů	[-]
f	součinitel tření ve stykové ploše	[-]
f_z	součinitel tření mezi plochami závitu	[-]
d_o	průměr otvoru pro šroub	[mm]
d_k	šířka otvoru stranového klíče	[mm]
M_{zp}	odporový moment	[N.m]
M_u	utahovací moment	[N.m]
M_{up}	odporový třecí moment	[N.m]
M_{uz}	odporový třecí moment v závitu	[N.m]
p_d	dovolené tlakové napětí	[MPa]
F_s	silové zatížení šroubu	[N]
F_Q	předpětí spoje	[N]
k_s	tuhost šroubu	[N/m]
k_p	tuhost příruby	[N/m]
J_{min}	min. kvadratický moment	[mm ⁴]
i	poloměr setrvačnosti	[m]
L_{krit}	kritická délka prutu	[m]
F_{krit}	kritická síla	[N]
R_{im}	reakce zatížené pouze momentem	[N]
R_{if}	reakce zatížené pouze silou	[N]

Obsah

1. Úvod	11
2. Způsoby uchycení spalovacích motorů ve zkušebních laboratořích	12
2.1 Uchycení pístového spalovacího motoru Cummins ISBe 150	13
2.1.1 Technické parametry pístového spalovacího motoru Cummins ISBe 150.....	14
2.2 Uchycení pístového spalovacího motoru Zetor 1505	15
2.2.1 Technické parametry pístového spalovacího motoru Zetor 1505	16
2.3. Mobilní upevňovací zařízení	17
2.3.1 Konstrukční rozbor mobilního zařízení	17
3. Transport a připojení motoru k motorové brzdě	19
3.1 Blokové schéma připojeného motoru k dynamometru.....	19
4. Vlastní konstrukční řešení	21
4.1 Volba vhodného materiálu a tvaru profilu pro základní rám	21
4.2 Základní rám upevňovacího zařízení	22
4.3 Základní rám s posuvnými profily	24
4.3.1 Varianta č.1	24
4.3.2 Varianta č.2	25
4.4 Pojezdový mechanismus.....	27
4.4.1 Technické parametry kladky.....	27
4.5 Ocelový držák s vysouvacím/zasouvacím členem	27
4.6 Kotvící prvek.....	28
4.7 Kotvící šroub.....	29
4.8 Výškově stavitelná podpora.....	30
4.9 Centrovací přípravek	31
4.10 Připojení k systému chlazení a přívodu pohonných hmot	32
5. Pevnostní analýza konstrukce	33

5.1	Výpočet reakcí v podporách v sepnutém stavu motoru.....	33
5.1.1	Nevývaha působící ve stejném směru jako gravitační síla	33
5.1.2	Nevývaha působící v opačném směru než gravitační síla	35
5.2	Výpočet reakcí v podporách ve vypnutém stavu motoru	38
5.3	Výpočet mobilního upevňovacího zařízení	39
5.4	Ohybové namáhání na posuvný profil zatížený reakcí R_a	40
5.5	Ohybové namáhání na posuvný profil zatížený reakcí R_b	43
5.6	Kontrola šroubových spojů	46
5.6.1	Šroubový spoj 1	46
5.6.2	Šroubový spoj 2	48
5.7	Kontrola výškově stavitelné podpory na vzpěr.....	50
6.	Závěr.....	52
	Seznam použité literatury	53

1. Úvod

Upevňovací zařízení nacházejí markantní uplatnění v automobilovém průmyslu. Zejména v testovacích střediskách, či firmách zabývajících se vývojem a konstrukcí pístových spalovacích motorů. Bez těchto usazovacích stolic by nebylo možné provádět měření na motorových brzdách. Motor se usadí na upevňovací rám, kde je nutno zajistit souosost klikové hřídele s hnací hřídelí dynamometru. Dále se připevní kotvicími prvky rám k základové desce. Po ukotvení je možné upnout jeden konec spojky na setrvačnick a druhý na motorovou brzdu. V neposlední řadě se zajistí přívod pohonných hmot, chladicího systému a odvádění výfukových emisí. Následně může být uveden motor do provozu, a tím započato zkušební měření.

V praxi jsou často vidány usazovací stolice, které jsou vyrobeny pouze pro jeden konkrétní typ motoru. Nejde je tedy přestavět pro jiný typ, než pro které byly vyrobeny.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout mobilní upevňovací zařízení pro pístové spalovací motory o zdvihovém objemu 3-6 dm³. U tohoto upevňovacího zařízení musí být zásadně kladen důraz na jeho univerzální použití, aby bylo možné na něj upnout spalovací motory v již zmíněném rozsahu zdvihového objemu. Jedním z dalších důležitých faktorů konstrukce je zajištění její mobility z důvodu převozu z montážní dílny do zkušební kobky, či pro manipulaci po laboratoři. Upevňovací zařízení musí splňovat několik základních vlastností, které jsou: dostatečná tuhost, pevnost a minimalizovat vibrace přenášející se mezi upevňovacím zařízením a měřeným motorem na motorové brzdě. Hlavním cílem je snížení montážního času potřebného pro zástavbu motoru k dynamometru a jeho připojení k systému výfukových spalin, přívodu pohonných hmot a připojení k chladicímu systému.

2. Způsoby uchycení spalovacích motorů ve zkušebních laboratořích

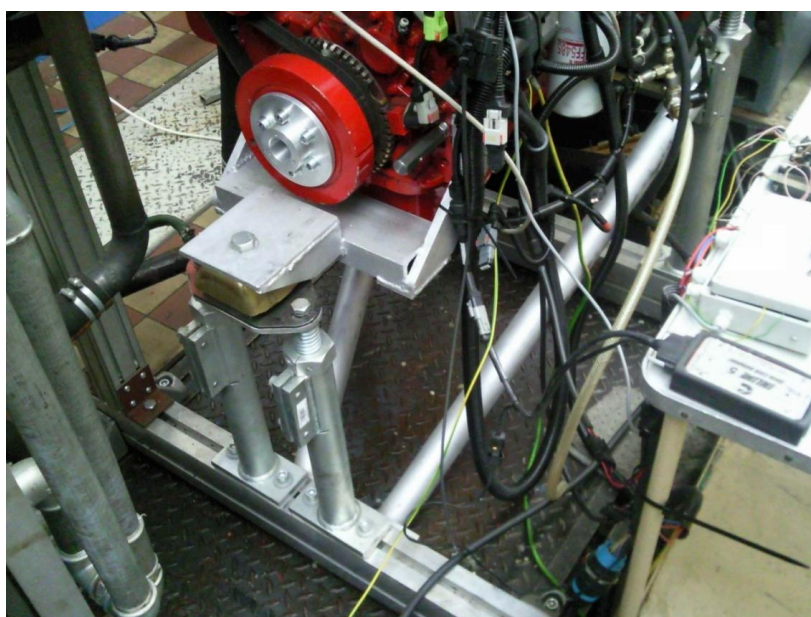
První kapitola bakalářské práce bude zaměřena na popis, jak se v současné době uchycují pístové spalovací motory k motorovým brzdám v testovacích laboratořích. Je velice důležité dbát na dostatečnou tuhost a pevnost usazovacího zařízení, aby nedošlo k havárii, či úplnému poškození motoru. Konstrukční řešení upevňovacích rámu, které se vyskytují v automobilovém průmyslu, může být rozděleno do dvou nejvíce odlišných skupin. Upevňovací zařízení pro pístové spalovací motory lze rozdělit na stacionární a mobilní.

Je to vždy kovová konstrukce, která je mezi jednotlivými díly zařízení spojena rozebíratelnými šroubovými spoji, pokud se jedná o univerzální použití, nebo nerozebíratelným spojem (svarem), je-li vyroben pro určitý spalovací motor. Rám může být opatřen výškově stavitelnými podporami či pevnými (nelze stanovit změnu výšky). Stavitelné podpory jsou jednoznačně velkým přínosem pro celou konstrukci. Ve vertikálním směru lze měnit jejich výšku pomocí závitové tyče. Na podporách, ať už výškově stavitelných či pevných, jsou připevněny silentbloky neboli pružná lůžka. Jejich účel je zcela prostý, avšak velmi důležitý, neboť zachycují a minimalizují kmity, které jsou vyvolávány spuštěným motorem. Pístový spalovací motor se umístí a připevní na silentbloky. Nejčastěji se využívají otvory v bloku motoru, které slouží k uchycení ke karoserii vozidla. Hlavní rozdíl mezi konstrukcemi upevňovacích zařízení je již výše zmíněná mobilita rámu, jelikož většina z upevňovacích zařízení mobilní být nemusí. A to je pokládáno za jednu z velkých nevýhod současných konstrukčních řešení. Proto byl jeden z dílčích cílů této bakalářské práce zaměřen na odstranění této nevýhody.

V laboratoři katedry vozidel a motorů se nacházejí pouze dva typy motoru, které jsou v rozsahu o zdvihovém objemu 3 – 6 dcm³. Jedním z nich je Cummins ISBe 150 a druhým Zetor 1505. V následujících kapitolách bude popsána konstrukční analýza těchto usazovacích stolic. Dále jejich výhody a nevýhody. V obou případech se jedná o stacionární upevňovací zařízení. Každý z již zmíněných motorů má své vlastní upevňovací zařízení.

2.1 Uchycení pístového spalovacího motoru Cummins ISBe 150

Upevňovací zařízení (obr. 1), na němž je usazen Cummins, je relativně univerzální. Proto může nalézt uplatnění i pro přestavbu na jiný pístový spalovací motor. Konstrukce je složena z eloxovaných aluminiových profilů, jedná se o takzvaný stavebnicový systém. U výrobce se pouze objedná požadovaný průřez a celková délka profilu. Celý tento systém složený z hliníkových nosníků se k sobě připevní rozebíratelnými šroubovými spoji. Je velice výhodné, že tyto profily v sobě mají již z výroby vyhotovené spojovací drážky, ve většině nabízených profilů se jedná o T drážku, ale mohou být i jiného tvaru. Díky těmto drážkám je montáž upevňovacího rámu velice jednoduchá.



Obr. 1 - Upevňovací zařízení pro Cummins ISBe 150

Příčné hliníkové nosníky jsou přišroubované k základní desce, která je zabudovaná v zemi. Tato deska je opatřena na každé straně po celé její délce T drážkou kvůli snadnému ukotvení upevňovacího rámu. Na příčných nosnících se nacházejí výškově stavitelné podpory. Jednotlivé podpory mohou měnit libovolně svou rozteč v axiálním směru, díky drážce v hliníkovém profilu. V tomto případě změna velikosti výšky je realizována pomocí závitových tyčí a matic. Na ocelové trubce je přivařena šestihranná matice, která odpovídá velikosti závitu na závitové tyči. Jelikož konstrukce disponuje pouze dvěma příčnými nosníky, nikoliv podélnými, nachází se zde ještě vyztužovací prvky. Jsou umístěny mezi zadním příčným nosníkem a předními výškově stavitelnými podpory, z důvodu zajištění větší stability a pevnosti upevňovacího zařízení. Na podporách se nacházejí silentbloky. Jelikož by bylo velice komplikované zkonstruovat upevňovací rám, tak univerzální, že by bylo možno

přímo na pružná lůžka upevnit jakýkoli motor za jeho originální otvory v bloku, musí se vyrobit pomocný přípravek, pomocí kterého už lze usadit motor na upevňovací stoličce. Přípravek přišroubujeme k bloku motoru a následně i s motorem usadíme na silentbloky.

Výhody:

- relativně snadná přestavba na jiný typ motoru
- nízká hmotnost upevňovacího rámu
- vysoká tuhost a pevnost

Nevýhody:

- není umožněna mobilita zařízení
- centrování se provádí na základní desce

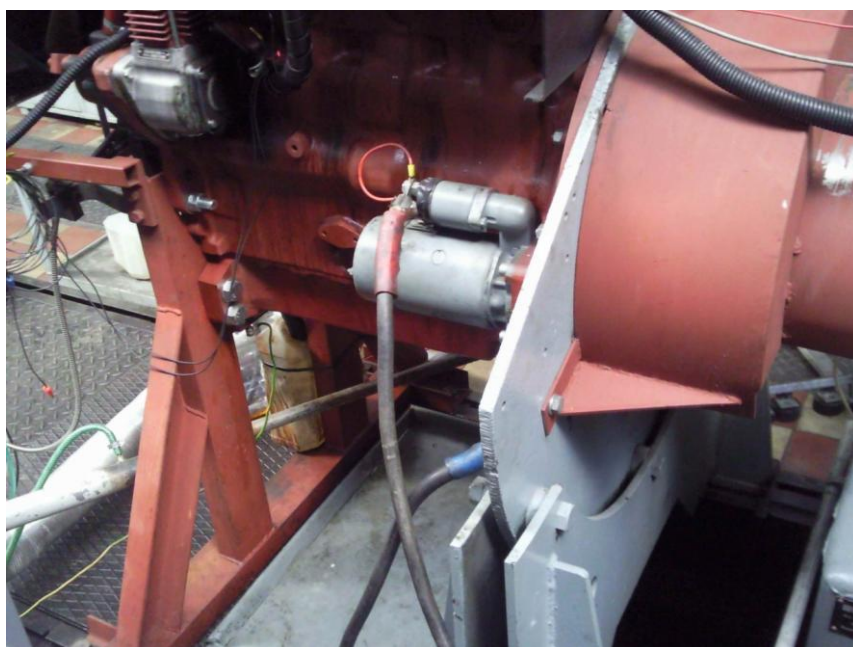
2.1.1 Technické parametry pístového spalovacího motoru Cummins ISBe 150

[10]

Jmenovitý výkon (kW / HP)	-	97 / 132
Plnění motoru	-	turbodmychadlem s mezichlazením
Počet válců	-	4
Objem (cm³)	-	3922
Vrtání/Zdvih (mm)	-	102 / 120
Jmenovité otáčky (min⁻¹)	-	2500
Kompresní poměr	-	17,8 : 1
Max. točivý moment (N.m)	-	481
Chlazení	-	kapalina
Hmotnost (kg)	-	338

2.2. Uchycení pístového spalovacího motoru Zetor 1505

V tomto případě je konstrukce upevňovacího rámu (obr. 2) vyrobena konkrétně pro jeden určitý typ motoru, a to je Zetor 1505. Tuto konstrukci nelze přestavit na jiný typ pístového spalovacího motoru, neboť jednotlivé díly rámu jsou k sobě připevněny svařem. Část konstrukce je vyrobena z tenkostěnných ocelových U-profilů. U tohoto typu upevňovacího zařízení je pouze jeden příčný nosník, na kterém jsou navařeny kolmo pevné výškové podpěry. Jejich rozteč je přesně definována podle úchytných otvorů na motoru. Tento příčný nosník s kolmými ocelovými podporami je použit pod přední částí motoru. U výškových podpor nelze libovolně měnit rozteč, ani jejich vertikální výšku jako tomu bylo v předchozím případě. Ocelové podpory jsou ještě vyztuženy šikmými vzpěry, které zajišťují větší stabilitu a tuhost upevňovacího rámu.



Obr. 2 – Upevňovací rám pro Zetor 1505

V zadní části motoru, kde se nachází setrvačnick, je způsob uchycení jiný. Je to řešeno pomocí silné ocelové desky, do které je zhotovena díra o větším průměru, než je průměr setrvačnicku. Tato deska je přišroubována z jedné strany k čelu motoru a z druhé strany ke krytu spojky. Druhý konec spojky je přišroubován k dynamometru. Ocelová deska je umístěna mezi dalšími dvěma ocelovými deskami, které jsou přišroubovány k základní desce v zemi. U této konstrukce je možno usadit motor na upevňovací zařízení přímo, aniž by se musel zhotovovat pomocný přípravek, jak tomu bylo v předcházejícím případě.

Výhody:

- vysoká tuhost, pevnost
- velká stabilita

Nevýhody:

- vysoká hmotnost konstrukce
- nedostatečná eliminace vznikajících kmitů
- centrování se provádí na základní desce
- nelze použít pro jiný typ motoru
- není zajištěna mobilita

2.2.1 Technické parametry pístového spalovacího motoru Zetor 1505 [9]

Jmenovitý výkon (kW / HP)	-	90 / 122
Plnění motoru	-	turbodmychadlem s mezichlazením
Počet válců	-	4
Objem (cm³)	-	4156
Vrtání/Zdvih (mm)	-	105 / 120
Jmenovité otáčky (min⁻¹)	-	2200
Kompresní poměr	-	17,8
Max. točivý moment (Nm)	-	525
Chlazení	-	kapalina
Hmotnost (kg)	-	430

2.3. Mobilní upevňovací zařízení

Tato kapitola bude věnována mobilním upevňovacím rámcům. Dále zde bude jejich porovnání s upevňovacími zařízeními stacionárními. V každé větší laboratorní zkušebně, kde probíhá testování či vývoj pístových spalovacích motorů, nesmí chybět mobilní upevňovací stolice. Tento mobilní systém oproti systému stacionárnímu přináší řadu výhod, jenž pro praxi nachází nesmírné uplatnění. Celkově dochází k zjednodušení a zefektivnění práce. Ale největší výhodou tohoto paletového systému je ta, že díky mobilitě dochází hlavně ke snížení montážních časů, a tím pádem samozřejmě i ke snížení finančních nákladů. U stacionárních rámců dochází k centrování motoru vůči motorové brzdě až na základní desce, což je vcelku nepraktické, jelikož tato operace může zabrat několik hodin a výměna motoru je celkem složitá, neboť se musí neustále vypodkládat rám, aby se dosáhlo požadované souososti motoru s dynamometrem. Není přípustné ve vývoji pístových spalovacích motorů ztrácet čas s centrováním motoru na základové desce, a tím zdržovat provoz na motorové brzdě. Jelikož při testování pístových spalovacích motorů v praxi to chodí většinou tak, že na motorové brzdě probíhá měření jednoho motoru usazeného na mobilním zařízení, kde vzápětí je již v záloze připraven další motor na paletovém systému, který se okamžitě připojí k dynamometru po skončení měření prvního motoru. Všechny dílenské úkony jsou již připravené z montážní dílny. Proto mobilní upevňovací zařízení jsou tak často žádány. U mobilních upevňovacích zařízení je možno díky mobilitě vycentrovat usazený motor již na montážní dílně a následně po vycentrování pouze dopravit rám s motorem do zkušební kobky. Pro tuto vlastnost jsou tyto rámy zásadně upřednostňovány před rámy stacionárními. Existuje mnoho konstrukčních řešení zabývajících se problematikou mobilního upevňovacího zařízení. Každý takovýto paletový systém by měl disponovat nezávislou změnou polohy ve všech třech osách (x, y, z) pravoúhlého kartézského souřadného systému pro možné upnutí široké škály motorů. V této bakalářské práci bude zkonstruován mobilní upevňovací zařízení pro usnadnění výměny a následného připojení motoru k dynamometru v laboratoři katedry vozidel a motorů.

2.3.1 Konstrukční rozbor mobilního zařízení

Ve světě se touto problematikou zabývá např. firma Froude Hoffman. Jejich konstrukční řešení zde bude nastíněno. Tyto mobilní upevňovací zařízení se skládají ze dvou částí rámu. První část zařízení, která je instalovaná na základní desce šroubovými spoji, je vyrobena ze svařeného ocelového rámu z tenkostěnných profilů. Jeho osa je ztotožněna s osou motorové brzdy. Tento rám je pomocný přípravek zajišťující souosost. Na tomto pomocném

rámu se nacházejí speciální zarovnávací prvky (vodící čepy), pro přesné a rychlé usazení druhé části rámu. Druhá část konstrukce je také vyrobena z ocelového tenkostěnného profilu. Na tomto rámu se vyskytují výškově stavitelné podpory, kde lze měnit polohu v horizontálním a vertikálním směru. Motor, který je upevněn na tomto zařízení, je již vycentrován z montážní dílny. Pomocí vysoko zdvižného vozíku se tato druhá část upevňovacího zařízení transportuje do zkušební kobky a umístí na první část rámu. Ten se přesně usadí do vodících čepů, čímž se docílí požadované přesnosti a následně šroubovými spoji se připevní k sobě jednotlivé části rámu. Tento systém se vyznačuje tím, že dochází spojením dvou palet, přičemž jeden rám je trvale instalovaný na základní desce. Tímto způsobem je časová náročnost omezena na minimum při montáži/demontáži motoru k motorové brzdě. [12]

3. Transport a připojení motoru k motorové brzdě

V montážní dílně dochází k úkonům, které jsou velmi důležité pro zefektivnění práce a úspory času připojení pístového spalovacího motoru na motorovou brzdu. Na mobilní upevňovací zařízení se umístí motor z výroby či prototyp, na kterém je potřeba provádět měření. Pro usazení motoru na upevňovací zařízení se využívá kladky, či jiného obdobného zvedacího zařízení. Po upevnění motoru na rám je potřeba ztotožnit osu klikové hřídele s osou mobilního upevňovacího zařízení. Tento úkon se provádí pomocí centrovacího přípravku, ve většině případů se na přípravku nachází kalibrační trn, díky němuž dojde k zajištění požadovaného vycentrování. U stacionárního rámu se centrování provádí až při připojování na dynamometr, kdy se upne pomocí magnetu úchylkoměr na setrvačnick a „ručička“ na hřídel motorové brzdy a měří se výchylka. Po vycentrování je již připraveno upevňovací zařízení včetně motoru pro transport do zkušební kobky. Doprava může být uskutečněna různými způsoby. Ať už po vlastních kolečkách, disponuje-li jimi rám, či s využitím vysokozdvizného, či paletového vozíku. U těžkých motorů se využívá především již zmíněné přepravní techniky k transportu k motorové brzdě. V této bakalářské práci bude zkonstruován mobilní upevňovací rám, který je vybaven pojezdovým mechanismem. Před samotným měřením na motorové brzdě je nejprve nutno zajistit několik důležitých úkonů, aby nedošlo ke zbytečné havárii motoru, či motorové brzdy:

- zajistit stabilitu a nepohyblivost motoru
- sjednotit osu upevňovacího zařízení s osou dynamometru
- zajistit odsávání výfukových plynů
- zajistit dostatečné chlazení motoru
- připojit přívod pohonných hmot

Po těchto vykonaných úkonech již nic nebrání ve spuštění samotného měření.

3.1 Blokové schéma připojeného motoru k dynamometru

Pozice č. 1 – testovaný pístový spalovací motor

Pozice č. 2 – kloubová spojka

Pozice č. 3 – senzor k měření otáček

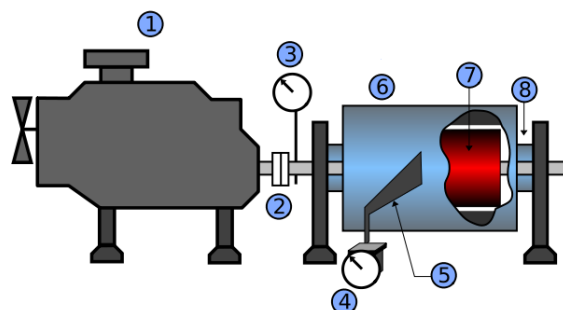
Pozice č. 4 – senzor k měření krouticího momentu

Pozice č. 5 – uchycení senzoru krouticího momentu

Pozice č. 6 – kryt dynamometru

Pozice č. 7 – rotor dynamometru

Pozice č. 8 - ložisko



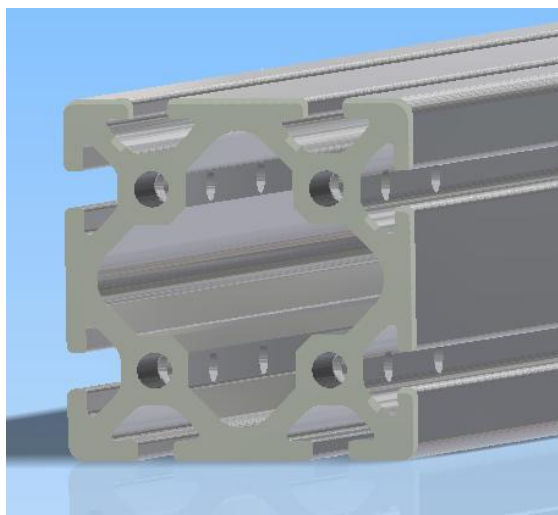
Obr. 3 – Pístový spalovací motor připojený k motorové brzdě [13]

4. Vlastní konstrukční řešení

Úkolem bakalářské práce bylo navrhnout a zkonstruovat optimální mobilní upevňovací zařízení, ke kterému je možno upnout běžný pístový spalovací motor o zdvihovém objemu $3 - 6 \text{ dm}^3$. Z těchto požadavků byla navržena varianta, kde je zajištěna požadovaná mobilita a jednoduchá přestavba rámu na jakýkoli motor v již zmíněném rozsahu. Ve stručném popisu je zde nastíněno konstrukční řešení. Detailní popis je v jednotlivých kapitolách, jež se zabývají jednotlivými prvky celé konstrukce. Mobilita je zajištěna pomocí otočných kladek, které je možno uvést do fixní polohy, díky totální brzdě. Základní rám, který tvoří nosnou část celého zařízení, je zkonstruován z aluminiových profilů, které v sobě obsahují drážky pro rychlé přestavění funkční délky rámu. Výšku a šířku lze modifikovat pomocí výškově posuvných podpor, které jsou umístěny na posuvných nosnících. Pohon mobilního upevňovacího zařízení obstarává lidská síla, jelikož při použití elektrických či pneumatických pohonů by cena tohoto konstrukčního řešení byla výrazně vyšší.

4.1 Volba vhodného materiálu a tvaru profilu pro základní rám

Pro tuto koncepci návrhu byl použit takzvaný stavebnicový systém, jenž se vyznačuje vysokým inovativním stupněm. Jedná se o slitinu hliníku AlMgSi0,5F25, která má povrchovou úpravu opatřenou přírodním eloxem o tloušťce $15 \mu\text{m}$. Technologický proces výroby je protlačování. Profily se vyznačují tím, že jsou velmi přesné a pevné. A v neposlední řadě mají výrazně větší životnost, než má ocelový materiál. Aluminiové profily jsou z hlediska montáže velmi jednoduché, neboť jsou k sobě připevněny pomocí rozebíratelných šroubových spojů, díky nimž je možnost snadné přestavby či demontáže profilů, pokud rám není delší dobu využíván. Již z výroby v sobě obsahují speciální drážky, ve kterých se nachází spojovací prvky mezi jednotlivými díly stavebnice či dalšími přídatnými prvky. Důvod, proč byl upřednostněn eloxovaný aluminiový profil před ocelovým materiálem, je ten, že není potřeba složitě obrábět, či konstruovat mechanismy pro zajištění požadované přestavby na jiný typ pístového spalovacího motoru. Profily pro základní rám a posuvací členy byly zvoleny o průřezu $80 \times 80 \text{ mm}$. [7]



Obr. 4 – Hliníkový podélný profil

Na hliníkovém podélném profilu (obr. 4) pro základní rám byly nutné dodatečné úpravy, které neobsahují zakoupené profily. Jedná se o vyvrtání průchozích děr do boků profilu pro průchod montážního nástroje, kterým se spojí jednotlivé profily k sobě. Poslední potřebné opracování se týká i krajních příčných nosníků. Jedná se o vyrobení závitu M8 do hloubky 16 mm v dutině čela profilu.

Výhody:

- nízká hustota materiálu \Rightarrow nízká hmotnost
- rychlá a snadná přestavba pomocí šroubových spojů
- vše je možné demontovat do posledního dílu
- designově uhlazené

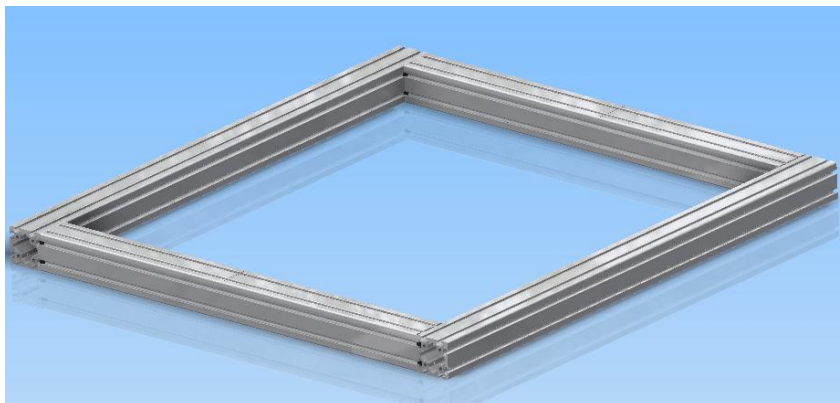
Nevýhody:

- vyšší pořizovací náklady vůči běžnému ocelovému materiálu

4.2 Základní rám upevňovacího zařízení

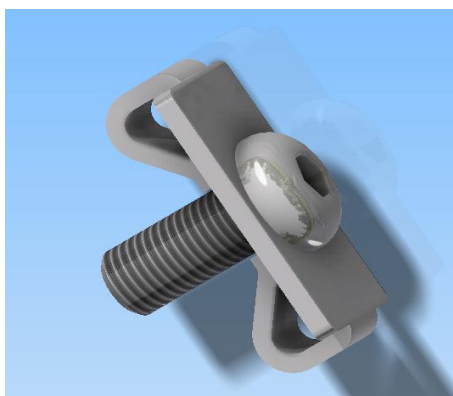
Nosnou konstrukcí celého upevňovacího zařízení je základní rám (obr. 5), kde jednotlivé aluminiové profily jsou k sobě spojeny pomocí speciálních spojovacích prvků, díky nimž je zajištěna fixní poloha rámu. S tímto základním rámem, který vznikne po sestavení příčných a podélných nosníků, již neprobíhá žádná manipulace. Při montáži by měla být

dodržena zásada, že podélné profily jsou přes celou délku rámu a příčné profily se nacházejí mezi nimi, jelikož tím se usnadní připojení kotvícího prvku.



Obr. 5 – Základní rám

Spojovací prvek (obr. 6), který pevně spojuje podélné a příčné aluminiové profily se skládá ze šroubu s půlkulatou hlavou a vnitřním šestihranem M8x20 a speciální podložky.



Obr. 6 – Pevný spojovací prvek

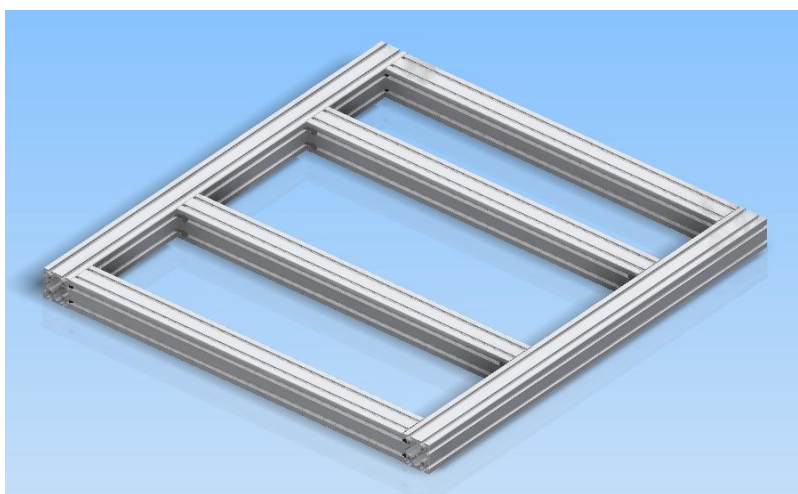
Princip funkce tohoto spojovacího prvku je takový, že jedna část spoje, a to šroub, je zašroubován v čele krajního příčného hliníkového profilu. Druhá část spojovacího prvku, a to podložka, je umístěna v drážce podélného profilu. Pomocí průchozí díry v boku podélného profilu se s montážním nástrojem dostatečně utáhne šroubový spoj. Tímto způsobem je realizováno spojení jednotlivých profilů. V důsledku sevření vznikne ve stykové ploše spojovaných součástí tlak, který spolu s fyzikálním třením dává předpoklad ke vzniku třecí síly, která umožňuje přenést vnější zatížení, působící kolmo k ose šroubu. [5]

4.3 Základní rám s posuvnými profily

Pro požadovanou realizaci axiálního pohybu, díky němuž je zajištěna měnitelná rozteč jednotlivých posuvných profilů, byly navrženy dvě varianty, které se liší ve spojovacích prvcích. Každá z těchto variant má své výhody a nevýhody.

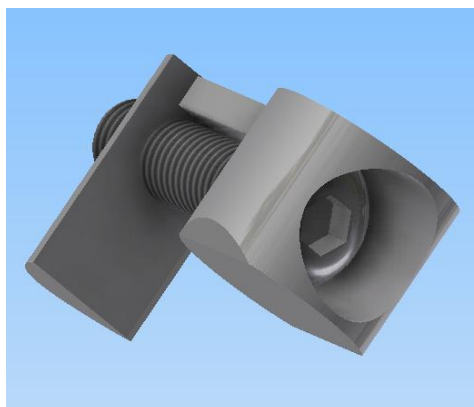
4.3.1 Varianta č.1

Posuvné hliníkové profily jsou spojeny pomocí univerzálních ocelových šroubových spojů se základním upevňovacím rámem. V tomto případě je potřeba opět provést opracování eloxovaného hliníkového profilu.



Obr. 7 – Posuvné profily, varianta č. 1

Do profilu, který má vykonávat axiální pohyb, tedy změnu rozteče, je nutno vyvrtat díru, do níž je umístěna jedna část ocelového univerzálního spoje (obr. 8). Druhá část, a to kámen, je vložen v drážce základního rámu. Pokud je třeba změnit rozteč, musí se šroubový spoj povolit a teprve potom je možno s posuvným profilem pohybovat v axiálním směru. Hlava šroubu se nachází v ose drážky posuvného nosníku, tudíž je zhoršený přístup s montážním nástrojem.



Obr. 8 – Univerzální spoj

Výhody:

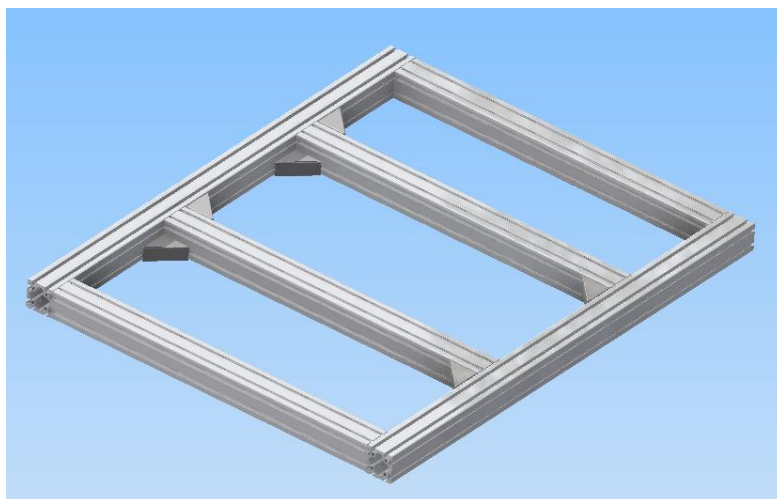
- maximální využití roztečného prostoru
- univerzální spoje jsou skryty v drážkách profilů

Nevýhody:

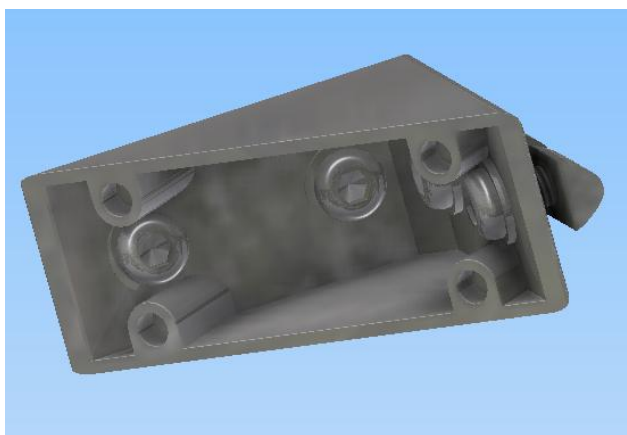
- špatný přístup k montáži/demontáži

4.3.2 Varianta č.2

Tato varianta (obr. 9) se liší pouze v použití jiného spojovacího prvku. V tomto případě univerzální spoje z předchozí varianty nahradily ocelové úhelníky (obr. 10). Tyto spojovací členy, které se jednou svou plochou pomocí šroubového spoje přišroubují do drážky posuvného profilu a druhou jeho plochou se stejným principem do drážky druhého profilu (v tomto případě základního rámu). U tohoto provedení není potřeba opracovávat hliníkový profil. Úhelník nejen zajišťuje funkci axiálního pohybu, ale také vyztužení rámu. Oproti variantě č.1 se také zlepšil přístup ke šroubovým spojům. Pro vykonání změny rozteče je potřeba odejmout plastovou krytku, která zakrývá spojovací prvky a šrouby montážním nástrojem povolit, aby vznikla vůle mezi úhelníkem a základním rámem, tak bude zajištěn posuv. Jelikož úhelníky mají délky odvěsen 80 mm, tak z tohoto důvodu nebude možno realizovat minimální a maximální využití rozteče mezi posuvnými nosníky a základním rámem.



Obr. 9 – Posuvné profily, varianta č. 2



Obr. 10 - Úhelník

Výhody:

- snadnější manipulace pro posuv nosníku
- vystužení rámu

Nevýhody:

- min. a max. rozteč nosníků je omezena

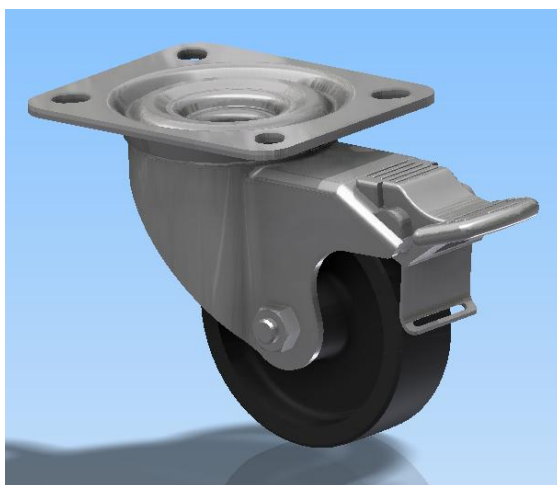
Po zvážení jednotlivých výhod a nevýhod byla zvolena jako výchozí varianta č.2. Bylo upřednostněno, že tato varianta disponuje lepším přístupem s montážním nástrojem ke šroubovým spojům určeným pro posouvání nosníku v axiálním směru oproti variantě č.1.

4.4 Pojezdový mechanismus

Mobilita rámu byla vyřešena tím, že se k základnímu rámu upevní šroubovými spoji ocelový držák s otočnými kladkami (obr. 11). Kladky byly vybrány od firmy BLICKLE. Pojezdová kolečka musela být navržena tak, aby dokázala unést statickou hmotnost celého upevňovacího zařízení a také pístového spalovacího motoru v rozsahu zdvihového objemu 3 – 6 dm³. Nosnost kladky je 200 kg.

4.4.1 Technické parametry kladky

Konzola je lisovaná z ocelového plechu. V zesíleném otočném věnci se nalézá dvojité kuličkové ložisko. Kola jsou vyrobena z šedé litiny a pojezdová plocha kol je potáhlá běhounem. Kladka má funkci „stop fix“, díky které je možno zajistit polohu kola a otočného věnce. Průměr kolečka je 80 mm. Celková výška kladky je 102 mm. [8]

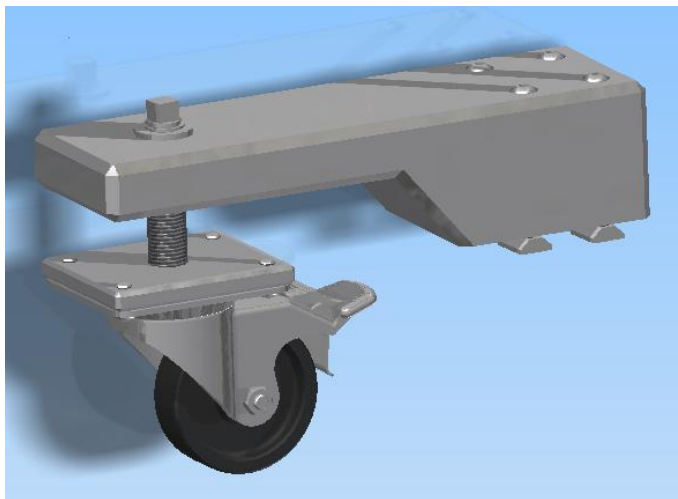


Obr. 11 – Pojezdová kladka

4.5 Ocelový držák s vysouvacím/zasouvacím členem

Jelikož bylo nutností zajistit mobilitu upevňovacího zařízení pro přepravu spalovacího motoru k motorové brzdě, byl sestrojen mechanismus (obr. 12), pomocí něhož se dají zasunout a vysunout pojezdové kladky. Aby se základní rám mohl lépe ukotvit k základní desce, tak dochází zasunutí kladek. Tímto způsobem bude zcela eliminován ohyb rámu, který by mohl nastat od dynamického namáhání za chodu motoru, pokud by po celou dobu provozu na dynamometru stál na kladkách. Další výhodou, kterou tento mechanismus přináší, je ta, že

kladky mohly být voleny s daleko menší únosností, jelikož nebudou nikdy namáhány na dynamickou zátěž běžícího motoru, ale pouze na statickou. Ocelový držák má v sobě vyvrtané díry, pomocí nichž se přišroubuje k základnímu rámu.



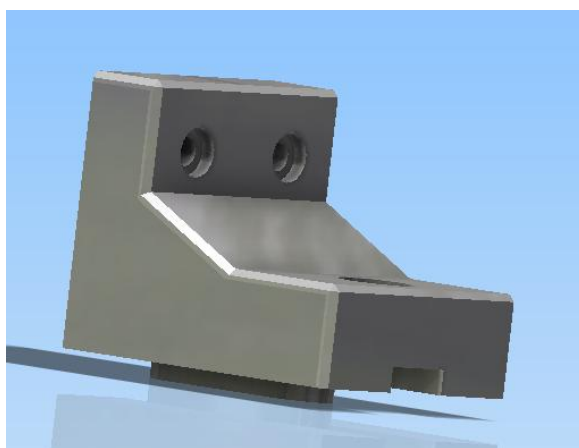
Obr. 12 – Ocelový držák

Dále obsahuje závitovou díru, ve které je umístěna závitová tyč, která slouží k vysunutí, či zasunutí kladky. Závitová tyč je přivařena k ocelové destičce, na které je připevněna kladka. V horní části je závitová tyč obrobena do čtyřhranu, do něhož se umístí montážní nástroj pro manipulaci s vysunutím, nebo zasunutím kolečka. Pod čtyřhranem je umístěna ocelová podložka, která se opírá spodní plochou o osazení závitové tyče a horní plochou o pojistný kroužek, díky tomu přesně vymezuje maximální možné vysunutí kolečka pod spodní hranu základního rámu. Tato velikost byla stanovena na 28 mm. V případě, kdy je rám ukotven k základní desce, se dolní hrana kladky nachází nad spodní hranou hliníkového profilu, a to ve vzdálenosti 8 mm. Při vysouvání kladky do polohy, ve které se upevňovací zařízení nachází mobilní, dojde ke styku kolečka se zemí a díky tomu, že kladka má otočný věnec, tak nedochází k poničení běhounu.

4.6 Kotvící prvek

Pro zajištění fixní polohy, která je velmi důležitá, aby mohlo být spuštěno měření na motorové brzdě, byl navržen ocelový kotvící prvek (obr. 13). Tento člen se do čel jednotlivých podélných aluminiových profilů přišroubuje ocelovými šrouby M8x35. Strana patky, která je rovnoběžná se zemí, se pomocí speciálního kotvícího šroubu spojí k základní desce. Tímto se zajistí pevné spojení základní desky s upevňovacím zařízením, na kterém je

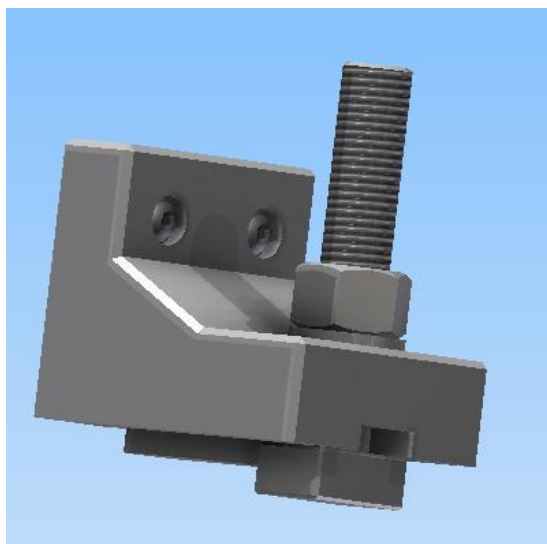
usazený pístový spalovací motor. Ocelová patka neslouží pouze jako kotevní prvek, ale i zároveň jako prostředek pro vycentrování celého rámu vůči motorové brzdě. Na kotvicím prvku je udělána pomocná ryska, která musí být ztotožněna s ryskou na podélném nosníku. Vycentrování probíhá pomocí těsného pera, jenž je umístěno v drážce pro pero v patce. Obsluha najede s upevňovacím rámem na základní desku. V tomto okamžiku se do drážky ve tvaru T v základní desce zasunou kotvící šrouby. Tyto šrouby mají vůli vůči T drážce. Následně se zasunou kladky a těsná pera se nasměrují do T drážky. Tímto je zajištěno požadované sjednocení os upevňovacího rámu s dynamometrem. Nyní je vše připraveno pro testování motoru na motorové brzdě.



Obr. 13 – Kotvící prvek s těsným perem

4.7 Kotvící šroub

Ocelový kotevní šroub (obr. 14) slouží pro zajištění fixní pozice mobilního upevňovacího zařízení. Jeho hlava je vyrobena s dostatečnou vůlí ve tvaru T drážky. A zbytek šroubu má válcovou část, na které je vyrobený závit M20. Při pohybu po zkušební laboratoři, či převozu do zkušební kobky se plocha hlavy šroubu dotýká spodní plochy kotvícího prvku. Je tomu tak zajištěno maticí M20. Při nájezdu na základní desku se povolí šestihranná matice, aby se mohly šrouby zasunout do T drážky. Jakmile se přední dva kotevní šrouby nacházejí v drážce základní desky, může obsluha posunout upevňovací rám, aby se mohly do drážky zasunout zbylé dva kotvící členy. Po následném vycentrování rámu těsnými pery se montážním nástrojem utáhne šestihranná matice, pod kterou je pružná podložka pro zabránění nechtěného povolování. Upevňovací zařízení v tomto okamžiku je v pevné a vycentrované pozici.



Obr. 14 – Kotvící šroub

4.8 Výškově stavitelná podpora

Dalším důležitým parametrem upevňovacího zařízení musí být možný pohyb ve všech třech osách kartézského souřadného systému. Tato podpora se stará o dva pohyby, a to jak ve směru horizontálním, tak i ve směru vertikálním. Horizontální pohyb je založen na posuvu šroubových spojů v drážce posuvného aluminiového profilu, kdy dochází ke změně rozteče mezi stavitelnými podpory na jednotlivých posuvných nosnících. Princip funkce vertikálního pohybu je následující. Stavitelná podpora (obr. 15) se skládá ze závitové tyče, šestihranné matice a ocelové trubky. Ocelová trubka je základem tohoto stavitelného mechanismu. Nachází se v ní jeden podélný obdelníkový výřez. Kolmo k jednotlivým podélným hranám výřezu jsou přivařeny ocelové pásy. V jednom z těchto pásů se nachází závitové díry a ve druhém díry.

Po nastavení požadované výšky se šroubovým spojem sevře ocelová trubka. Efekt je takový, že dojde k aretaci závitové tyče, jelikož při dynamickém namáhání, kdy vznikají rázy a vibrace, by se mohlo stát, že by mohla povolit samosvornost, a tím by došlo k vychýlení souososti, což by mohlo vést k poničení pístového spalovacího motoru, nebo motorové brzdy. Na horním konci trubky je k mezikruží přivařena ocelová matice. Matice také disponuje obdelníkovým výřezem po celé její výšce a příčně vyvrtanou dírou pro dodatečnou aretaci. Posledním členem této stavitelné podpory je závitová tyč, která je umístěna v ocelové trubce. Závit není po celé délce tyče, jelikož byla potřeba zbrusušení pro nástroj (např. strannový klíč), díky kterému dochází ke změně výšky. Tyč je na horním konci osazená, protože se tam

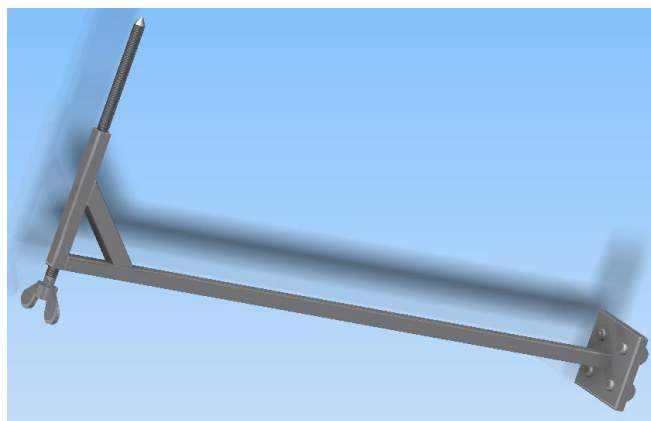
nacházejí ocelové misky, na kterých jsou umístěna pružná lůžka. Misky jsou zcela otočné v rozsahu $0^\circ - 360^\circ$. Jsou zajištěny pouze pojistným kroužkem pro zachycení axiálního pohybu. Pokud by byly napevno spojeny se závitovou tyčí, nedala by se již regulovat výška stavitelných podpor po usazení pístového spalovacího motoru.



Obr. 15 – Výškově stavitelná podpora

4.9 Centrovací přípravek

Nejdůležitějším parametrem mobilního upevňovacího rámu je zajištění vycentrování pístového spalovacího motoru. V důsledku na tento faktor byl navržen centrovací přípravek (obr. 16), pomocí něhož se zajistí požadovaná souosost. Výšková noha je vyrobena z ocelové čtvercové tyče. Jedním koncem je spojena svarem s ocelovou destičkou. Druhým koncem tyče je kolmo k ní koutovým svarem navařena další čtvercová tyč. Tato tyč je ještě vystužena přídatnou vzpěrrou. Kolmo navařená tyč obsahuje závitovou díru, v níž se nachází závitová tyč, která je na jednom konci opatřena centrovacím trnem a na druhém je přivařena křídlatá matice. Pro zajištění naprostého ztotožnění os centrovacího trnu a upevňovacího zařízení, jsou vyrtány v hliníkovém profilu a v destičce centrovacího přípravku dvě přesné díry. Jenž v nich u aluminiovém profilu jsou „naraženy“ čepy bez hlavy. Na tyto čepy se umístí centrovací přípravek, čímž se docílí ztotožnění os centrovacího trnu s osou mobilního rámu. Centrovací přípravek se pro fixní polohu přitáhne šroubovým spojem k rámu. Pomocí momentu, vyvozeného lidskou silou na matici, je možno si přibližovat, či oddalovat centrovací trn v závislosti na velikosti motoru.



Obr. 16 – Centrovací přípravek

Centrovací přípravek musí být umístěný jak k řemenici, tak i k setrvačníku. Dle testovaného motoru se musí dodatečně vyrobit další přípravek, který už se liší podle jednotlivých typů. Může to být například vyřešeno tím, že se zkonstruuji ocelové kruhové desky, které odpovídají průměru setrvačníku a řemenice. Centrovací desky musí obsahovat osazení a centrovací trn. Po upnutí desky na setrvačník a řemenici šroubovými spoji se centrovací přípravek vysune na potřebnou vzdálenost, aby centrovací trny byly k sobě co nejbližší. Tím se zjistí, ve kterém směru je potřeba pohnout s usazeným motorem. Celý tento proces je vykonán na montážní dílně. Na základní desce se motor již necentruje.

4.10 Připojení k systému chlazení a přívodu pohonných hmot

Pro urychlení připojení k chladicímu okruhu a přívodu PH je mobilní upevňovací zařízení vybaveno rychlospojkami (obr. 17) určenými pro kapaliny od firmy STAUBLI. Jedná se o bezodkapové rychlospojky z důvodu zabránění úniku pohonných hmot. Spojení mezi samcem a samicí dojde pomocí zatlačení a pootočení. Jsou vybaveny mechanickými zámky. To znamená, že nemůže dojít napojení hadice chladicího okruhu na rychlospojku určenou pro pohonné hmoty. Pro vizuální rozeznání jsou barevně rozlišeny.



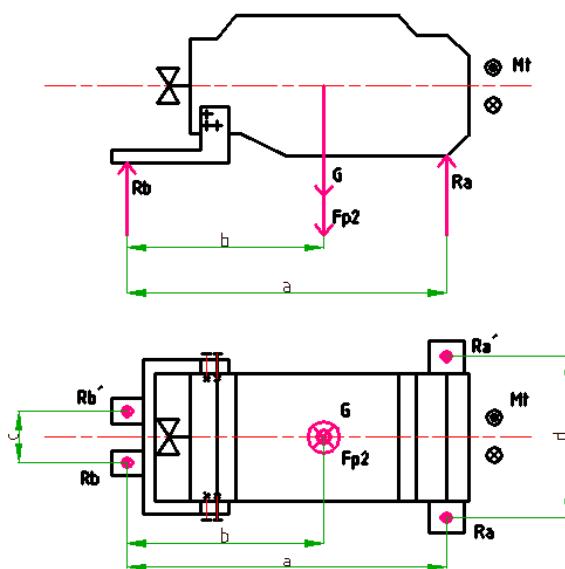
Obr. 17 – Rychlospojky – samec a samice

5. Pevnostní analýza konstrukce

Výpočet upevňovacího mobilního zařízení byl proveden pro pístový spalovací motor Cummins ISBe 150. Jelikož tento motor je řadový čtyřválec, je nutno počítat i se silovou nevyváhou vnějších sil, která působí na klikovém hřídeli při jeho chodu. Na rozdíl od setrvačných sil posuvných hmot prvního řádu nejsou setrvačné síly od posuvných hmot druhého řádu vyváženy. Jejich působíště se nachází ve směru os válců. Směr se neustále mění, buď se nachází ve stejném směru jako gravitační síla, nebo v opačném. V praxi tyto vnější účinky nejsou konstrukcí řešeny z důvodu finanční náročnosti. Pouze u automobilů vyšších tříd se tento problém řeší dvěma vyvažovacími hřídeli, které se otáčejí vůči sobě v protifázi dvojnásobnými otáčkami, než jaké má motor. [1]

5.1 Výpočet reakcí v podporách v sepnutém stavu motoru

5.1.1 Nevývaha působící ve stejném směru jako gravitační síla



Obr. 18 – Schéma k výpočtu 1

$$F_{p2} = m_p \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \lambda_k \cdot \cos(2\alpha) = 3,5 \cdot 0,06 \cdot 68538,92 \cdot 0,3 \cdot 1 = 4317,95 \text{ N} \quad (1)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{2500}{60} = 261,8 \text{ rad/s} \quad (2)$$

$$m_p = \frac{1}{3} \cdot m_o + m_{pk} + m_{p\check{c}} + m_{pi} = 3,5 \text{ kg} \quad (3)$$

$$G = m_m \cdot g = 350 \cdot 9,81 = 3433,5 \text{ N} \quad (4)$$

Pro výpočet jednotlivých reakcí v podporách při chodu motoru bude využita metoda superpozice.

Zadané veličiny

$$a = 930 \text{ mm} \quad b = 530 \text{ mm} \quad c = 350 \text{ mm} \quad d = 690 \text{ mm} \quad M_t = 481 \text{ N}\cdot\text{m}$$

1) Uvažujeme pouze silové účinky

$$\text{Předpoklad } R_{af} = R_{af}' \text{ a } R_{bf} = R_{bf}' \quad (6)$$

Rovnice rovnováhy

$$\uparrow : R_a + R_a' + R_b + R_b' - G - F_{p2} = 0 \quad (7)$$

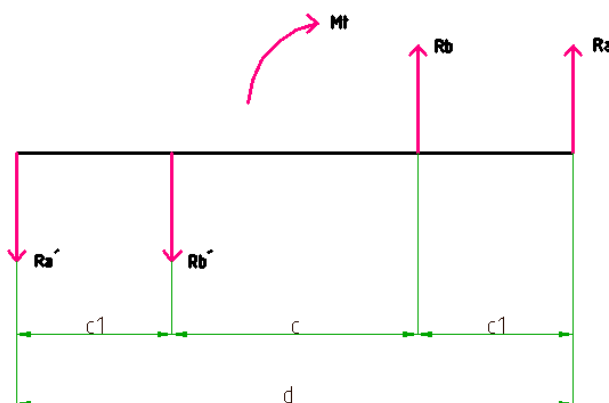
Momentová rovnováha

$$R_b : G \cdot b + F_{p2} \cdot b - 2 \cdot R_{af} \cdot a = 0 \quad (8)$$

$$R_{af} = \frac{G \cdot b + F_{p2} \cdot b}{2 \cdot a} = \frac{3433,5 \cdot 0,53 + 4317,95 \cdot 0,53}{2 \cdot 0,93} = \mathbf{2208,75 \text{ N}} \quad (9)$$

$$R_{bf} = F_{p2} + G - 2 \cdot R_{af} = 4317,95 + 3433,5 - 2 \cdot 2208,78 = \mathbf{3333,6 \text{ N}} \quad (10)$$

2) Uvažujeme pouze momentové účinky



Obr. 19 – Bokorys motoru

$$\text{Předpoklad } R_{am} = - R_{am}' \text{ a } R_{bm} = - R_{bm}' \quad (11)$$

$$\sum R_{am} : R_{bm} \cdot c_1 - R_{bm}' \cdot (c_1 + c) - R_{am}' \cdot d + M_t = 0 \quad (12)$$

$$\text{Deformační podmínka } \varphi_{A,B} = 0 \quad (13)$$

$$M_a + M_b = M_t \quad M_a = R_{am} \cdot d \quad M_b = R_{bm} \cdot c \quad (14)$$

$$R_{bm} = \frac{M_t}{2 \cdot c} = 678,14 \text{ N} \quad R_{bm}' = -678,14 \text{ N} \quad (15)$$

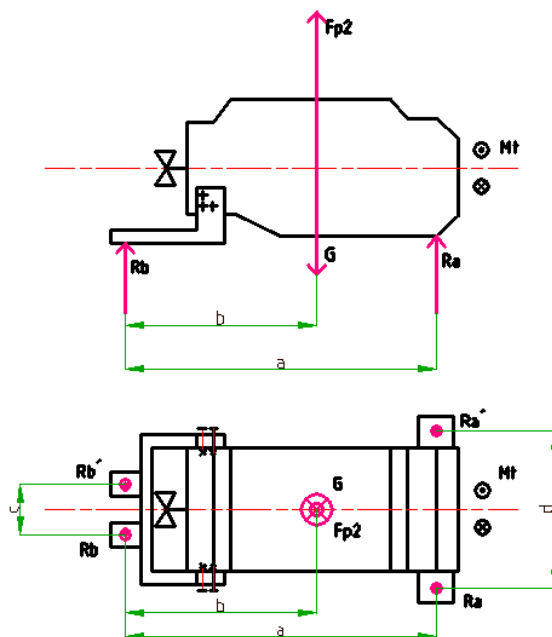
$$R_{am}' = -348,55 \text{ N} \quad R_{am} = \frac{M_t}{2 \cdot d} = 348,55 \text{ N} \quad (16)$$

Výsledné reakce v podporách (sečtení dílčích výsledků metodou superpozice)

$$R_a = R_{af} + R_{am} = \mathbf{2557,3 \text{ N}} \quad R_a' = R_{af}' - R_{am}' = \mathbf{1860,2 \text{ N}} \quad (17)$$

$$R_b = R_{bf} + R_{bm} = \mathbf{4011,7 \text{ N}} \quad R_b' = R_{bf}' - R_{bm}' = \mathbf{2655,5 \text{ N}} \quad (18)$$

5.1.2 Nevývaha působící v opačném směru než gravitační síla



Obr. 20 – Schéma k výpočtu 2

$$F_{p2} = m_p \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \lambda_k \cdot \cos(2\alpha) = 3,5 \cdot 0,06 \cdot 68538,92 \cdot 0,3 \cdot 1 = \mathbf{4317,95 \text{ N}} \quad (19)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{2500}{60} = 2 \cdot \pi \cdot 41,67 = \mathbf{261,8 \text{ rad/s}} \quad (20)$$

$$m_p = \frac{1}{3} \cdot m_o + m_{pk} + m_{p\check{c}} + m_{pi} = \mathbf{3,5 \text{ kg}} \quad (21)$$

$$G = m_m \cdot g = 350 \cdot 9,81 = \mathbf{3433,5 \text{ N}} \quad (22)$$

Pro výpočet jednotlivých reakcí v podporách při chodu motoru bude využita metoda superpozice.

Zadané veličiny

$$a = 930 \text{ mm} \quad b = 530 \text{ mm} \quad c = 350 \text{ mm} \quad d = 690 \text{ mm} \quad M_t = 481 \text{ N}\cdot\text{m}$$

1) Uvažujeme pouze silové účinky

$$\text{Předpoklad } R_{af} = R_{af}' \text{ a } R_{bf} = R_{bf}' \quad (23)$$

Rovnice rovnováhy

$$\uparrow : R_a + R_a' + R_b + R_b' - G + F_{p2} = 0 \quad (24)$$

Momentová rovnováha

$$\curvearrowright R_b : G \cdot b - F_{p2} \cdot b - 2 \cdot R_{af} \cdot a = 0 \quad (25)$$

$$R_{af} = \frac{G \cdot b - F_{p2} \cdot b}{2 \cdot a} = \frac{3433,5 \cdot 0,53 - 4317,95 \cdot 0,53}{2 \cdot 0,93} = \mathbf{- 252 \text{ N}} \quad (26)$$

$$R_{bf} = -F_{p2} + G - 2 \cdot R_{af} = -4317,95 + 3433,5 + 2 \cdot 252 = \mathbf{- 380,5 \text{ N}} \quad (27)$$

2) Uvažujeme pouze momentové účinky

$$\text{Předpoklad } R_{am} = -R_{am}' \text{ a } R_{bm} = -R_{bm}' \quad (28)$$

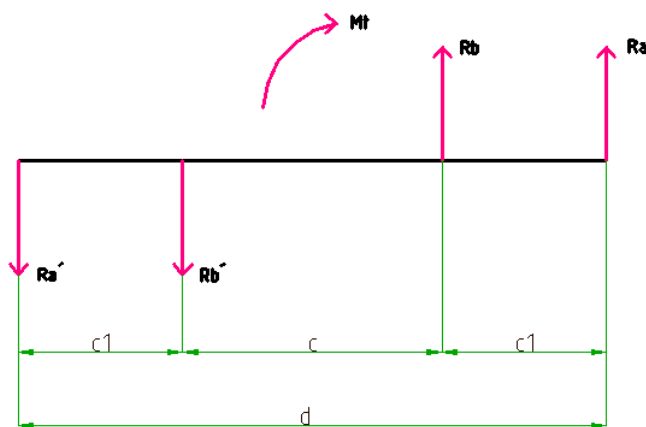
$$\curvearrowright R_{am} : R_{bm} \cdot c_1 - R_{bm}' \cdot (c_1 + c) - R_{am}' \cdot d + M_t = 0 \quad (29)$$

$$\text{Deformační podmínka } \varphi_{A,B} = 0 \quad (30)$$

$$M_a + M_b = M_t \quad M_a = R_{am} \cdot d \quad M_b = R_{bm} \cdot c \quad (31)$$

$$R_{bm} = \frac{M_t}{2 \cdot c} = 678,14 \text{ N} \qquad R_{bm}' = - 678,14 \text{ N} \qquad (32)$$

$$R_{am}' = -348,55 \text{ N} \qquad R_{am} = \frac{M_t}{2 \cdot d} = 348,55 \text{ N} \qquad (33)$$



Obr. 21 – Bokorys motoru

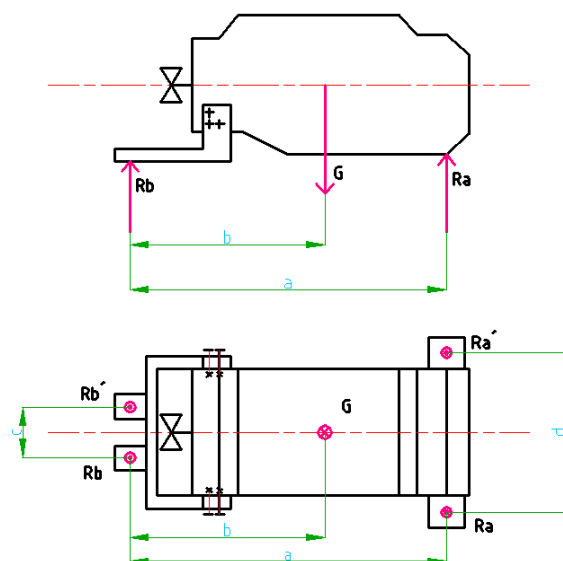
Výsledné reakce v podporách (sečtení dílčích výsledků metodou superpozice)

$$R_a = R_{af} + R_{am} = \mathbf{600,55 \text{ N}} \qquad R_a' = R_{af}' - R_{am}' = - \mathbf{96,55 \text{ N}} \qquad (34)$$

$$R_b = R_{bf} + R_{bm} = \mathbf{1058,6 \text{ N}} \qquad R_b' = R_{bf}' - R_{bm}' = - \mathbf{297,64 \text{ N}} \qquad (35)$$

Z vypočtených výsledků jednoznačně vyplývá, že pokud setrvačná síla posuvných hmot druhého řádu působí ve stejném směru jako síla gravitační, jsou velikosti jednotlivých reakcí v podporách výrazně větší, než v opačném směru nevývahy.

5.2 Výpočet reakcí v podporách ve vypnutém stavu motoru



Obr. 22 – Schéma k výpočtu 3

$$G = m_m \cdot g = 350 \cdot 9,81 = \mathbf{3433,5 \text{ N}} \quad (36)$$

Rovnice rovnováhy

$$\uparrow: R_a + R_a' + R_b + R_b' - G = 0 \quad (37)$$

Momentová rovnováha

$$(1) \quad R_b : G \cdot b - R_a \cdot a - R_a' \cdot a = 0 \quad (38)$$

Výpočet

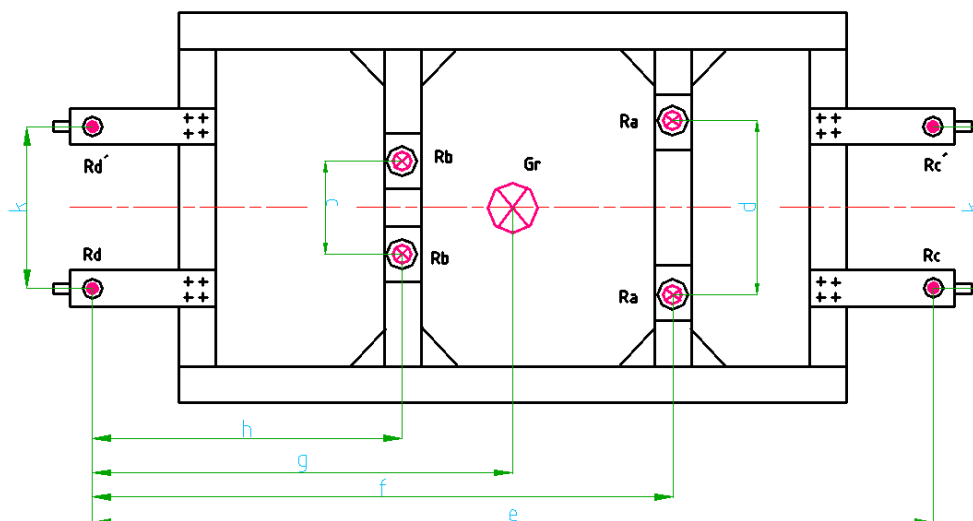
$$a = 930 \text{ mm} \quad b = 530 \text{ mm} \quad R_a = R_a' \quad R_b = R_b'$$

$$R_a = \frac{G \cdot b}{2 \cdot a} = \frac{3433,5 \cdot 0,53}{2 \cdot 0,93} = \mathbf{978,36 \text{ N}} \quad (39)$$

$$R_b = \frac{G - 2 \cdot R_a}{2} = \frac{3433,5 - 2 \cdot 978,36}{2} = \mathbf{738,39 \text{ N}} \quad (40)$$

Pro pevnostní výpočet reakcí v kladkách a dále ohybového namáhání jednotlivých posuvných nosníků se využijí vypočtené síly při vypnutém chodu motoru, neboť při zapnutém stavu nedochází k ohybovému namáhání nosníků (leží na základní desce) ani ke vzniku napětí v kolečkách.

5.3 Výpočet mobilního upevňovacího zařízení



Obr. 23 – Schéma k výpočtu 4

$$G_r = m_r \cdot g = 90 \cdot 9,81 = \mathbf{882,9 \text{ N}} \quad (41)$$

Silová rovnováha

$$\uparrow : R_d + R_d' + R_c + R_c' - 2 \cdot R_b - 2 \cdot R_a - G_r = 0 \quad (42)$$

Momentová rovnováha

$$\curvearrowright R_d \cdot 2 \cdot R_b \cdot h + G_r \cdot g + 2 \cdot R_a \cdot f - R_c \cdot e - R_c' \cdot e = 0 \quad (43)$$

Výpočet

$$h = 525 \text{ mm}$$

$$g = 865 \text{ mm}$$

$$f = 1295 \text{ mm}$$

$$e = 1730 \text{ mm}$$

$$R_c = R_c'$$

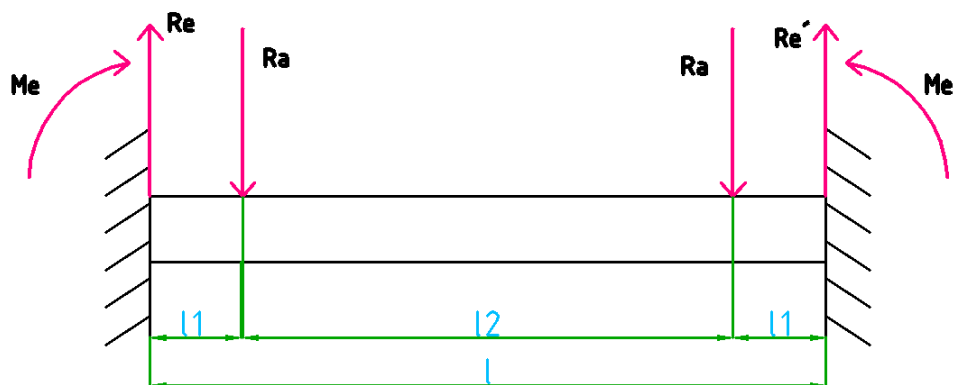
$$R_d = R_d'$$

$$R_c = \frac{G_r \cdot g + 2 \cdot R_b \cdot h + 2 \cdot R_a \cdot f}{2 \cdot e} = 1177,16 \text{ N} \quad (44)$$

$$R_d = \frac{G_r - 2 \cdot R_c + 2 \cdot R_a + 2 \cdot R_b}{2} = 981 \text{ N} \quad (45)$$

Z výše vypočtených působících sil v kladkách se ověřilo, že kolečko s nosností 200 kg vyhovuje.

5.4 Ohybové namáhání na posuvný profil zatížený reakcí R_a



Obr. 24 – Schéma k výpočtu 5

Zadané hodnoty:

$$l = 970 \text{ mm} \quad l_1 = 140 \text{ mm} \quad l_2 = 690 \text{ mm} \quad R_a = 978,36 \text{ N}$$

$$E = 70\,000 \text{ N/mm}^2 \quad J_y = 187,7 \text{ cm}^4 \quad W_o = 46,92 \text{ cm}^3 \quad k = 2$$

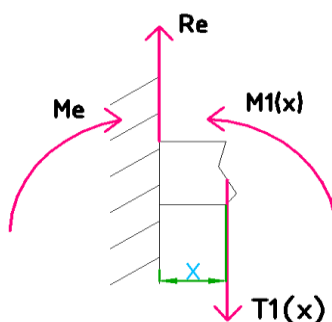
$$R_m = 195 \text{ MPa} \quad R_e = 117 \text{ MPa} \quad \sigma_{dov} = 58,5 \text{ MPa}$$

Výpočet

$$R_e = R_{e'} = R_a = 978,36 \text{ N} \quad (46)$$

$$M_e = M_{e'} = -\frac{R_a \cdot l_1}{l} \cdot (1 - l_1) = -\frac{978,36 \cdot 0,14}{0,97} \cdot (0,97 - 0,14) = -117,2 \text{ N.m} \quad (47)$$

I.řez $< 0 \leq x \leq l_1 >$



Obr. 25 – Schéma k výpočtu 6

$$T_1(x) = R_e = 978,36 \text{ N} \quad (48)$$

$$M_1(x) = M_e + R_e \cdot x \quad (49)$$

$$M_1(0) = -117,2 \text{ Nm} \quad M_1(l_1) = 19,77 \text{ N.m} \quad (50)$$

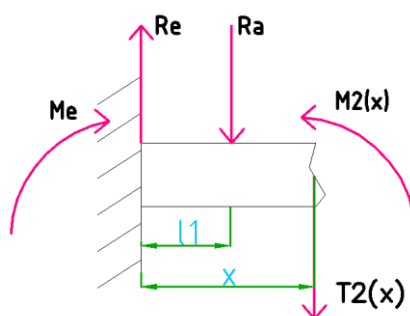
$$W_1''(x) = -\frac{M_1(x)}{E \cdot J_y} = -\frac{1}{E \cdot J_y}(M_e + R_e \cdot x) \quad (51)$$

$$W_1'(x) = -\frac{1}{E \cdot J_y}(M_e \cdot x + R_e \cdot \frac{x^2}{2} + c_1) \quad (52)$$

$$W_1(x) = -\frac{1}{E \cdot J_y}(M_e \cdot \frac{x^2}{2} + R_e \cdot \frac{x^3}{6} + c_1 \cdot x + c_2) \quad (53)$$

$$\text{Z okrajových podmínek } W_1(0) = 0 \text{ a } W_1'(0) = 0 \text{ vychází } c_1 = c_2 = 0 \quad (54)$$

II.řez $< l_1 \leq x \leq l_1 + l_2 >$



Obr. 26 – Schéma k výpočtu 7

$$T_2(x) = 0 \text{ N} \quad (55)$$

$$M_2(x) = M_e + R_a \cdot l_1 = -117,7 + 978,36 \cdot 0,14 = \mathbf{19,77 \text{ Nm} = M_{\max}} \quad (56)$$

$$W_2''(x) = -\frac{M_2(x)}{E \cdot J_y} = -\frac{1}{E \cdot J_y}(M_e + R_e \cdot l_1) \quad (57)$$

$$W_2'(x) = -\frac{1}{E \cdot J_y}(M_e \cdot x + R_e \cdot l_1 \cdot x + c_3) \quad (58)$$

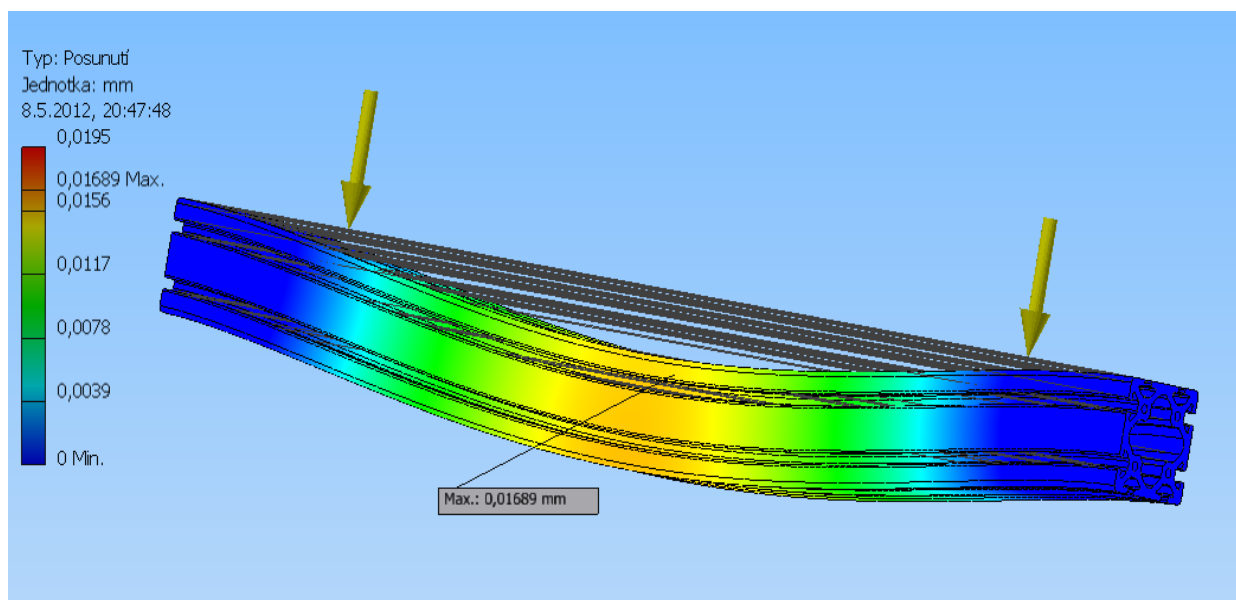
$$W_2(x) = -\frac{1}{E \cdot J_y}\left(M_e \cdot \frac{x^2}{2} + R_e \cdot \frac{x^2}{2} \cdot l_1 + c_3 \cdot x + c_4\right) \quad (59)$$

$$\text{Z o.p. } W_1(l_1) = W_2(l_2) \text{ a } W_1'(l_1) = W_2'(l_2) \text{ vychází } c_3 = -\frac{1}{2} \cdot R_e \cdot l_1^2, c_4 = R_e \cdot \frac{l_1^3}{6} \quad (60)$$

Největší průhyb nastane v polovině nosníku tj. $(l_1 + l_2/2)$

$$W_{\max} = -\frac{1}{E \cdot J_y}\left(M_e \cdot \frac{(l_1 + l_2/2)^2}{2} + R_e \cdot \frac{(l_1 + l_2/2)^2}{2} \cdot l_1 + c_3 \cdot (l_1 + l_2/2) + c_4\right) \quad (61)$$

$$\mathbf{W_{\max} = 0,0144 \text{ mm}} \quad (62)$$

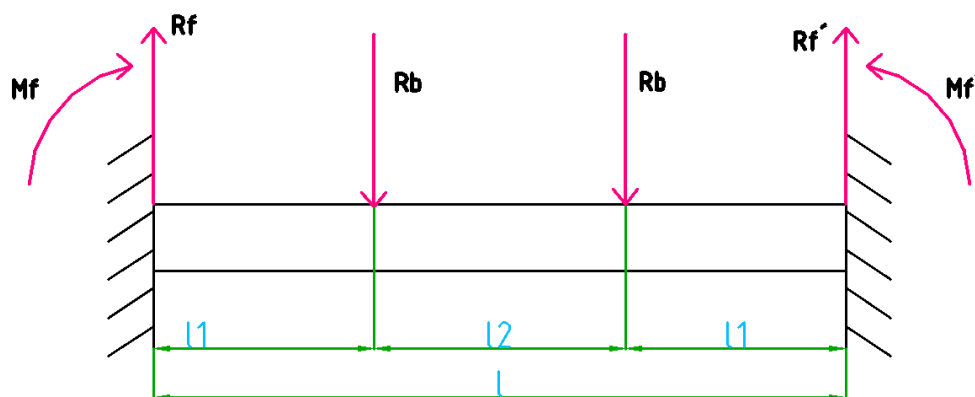


Obr. 27 - Metoda Konečných Prvků – Nosník I

$$\sigma_{\text{omax}} = \frac{M_{\text{max}}}{W_o} = \frac{19,77}{46920000} = \mathbf{0,4214 \text{ MPa}} \quad (63)$$

$$\sigma_{\text{omax}} < \sigma_{\text{dov}} \quad \mathbf{VYHOVUJE} \quad (64)$$

5.5 Ohybové namáhání na posuvný profil zatížený reakcí R_b



Obr. 28 – Schéma k výpočtu 8

Zadané hodnoty:

$$l = 970 \text{ mm} \quad l_1 = 310 \text{ mm} \quad l_2 = 350 \text{ mm} \quad R_b = 738,4 \text{ N}$$

$$E = 70\,000 \text{ MPa} \quad J_y = 187,7 \text{ cm}^4 \quad W = 46,92 \text{ cm}^3 \quad k = 2$$

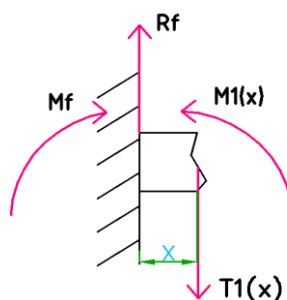
$$R_m = 195 \text{ MPa} \quad R_e = 117 \text{ MPa} \quad \sigma_{\text{dov}} = 58,5 \text{ MPa}$$

Výpočet

$$R_f = R_{f'} = R_b = \mathbf{738,4 \text{ N}} \quad (65)$$

$$M_f = M_{f'} = -\frac{R_b \cdot l_1}{l} \cdot (l - l_1) = -\frac{738,4 \cdot 0,31}{0,97} \cdot (0,97 - 0,31) = \mathbf{-155,75 \text{ N.m}} \quad (66)$$

I.řez $< 0 \leq x \leq l_1 >$



Obr. 29 – Schéma k výpočtu 9

$$T_1(x) = R_f = 738,4 \text{ N} \quad (67)$$

$$M_1(x) = M_f + R_f \cdot x \quad (68)$$

$$M_1(0) = -155,78 \text{ Nm} \quad M_1(l_1) = 73,12 \text{ N.m} \quad (69)$$

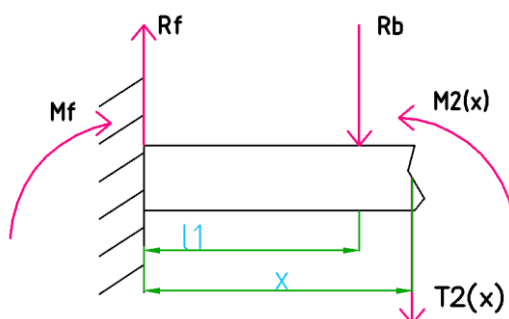
$$W_1''(x) = -\frac{M_1(x)}{E \cdot J_y} = -\frac{1}{E \cdot J_y} (M_f + R_f \cdot x) \quad (70)$$

$$W_1'(x) = -\frac{1}{E \cdot J_y} (M_f \cdot x + R_f \cdot \frac{x^2}{2} + c_1) \quad (71)$$

$$W_1(x) = -\frac{1}{E \cdot J_y} (M_f \cdot \frac{x^2}{2} + R_f \cdot \frac{x^3}{6} + c_1 \cdot x + c_2) \quad (72)$$

$$\text{Z okrajových podmínek } W_1(0) = 0 \text{ a } W_1'(0) = 0 \text{ vychází } c_1 = c_2 = 0 \quad (73)$$

II.řez $< l_1 \leq x \leq l_1 + l_2 >$



Obr. 30 – Schéma k výpočtu 10

$$T_2(x) = 0 \text{ N} \quad (74)$$

$$M_2(x) = M_f + R_b \cdot l_1 = -155,78 + 738,4 \cdot 0,31 = \mathbf{73,12 \text{ Nm} = M_{\max}} \quad (75)$$

$$W_2''(x) = -\frac{M_2(x)}{E \cdot J_y} = -\frac{1}{E \cdot J_y}(M_f + R_f \cdot l_1) \quad (76)$$

$$W_2'(x) = -\frac{1}{E \cdot J_y}(M_f \cdot x + R_f \cdot l_1 \cdot x + c_3) \quad (77)$$

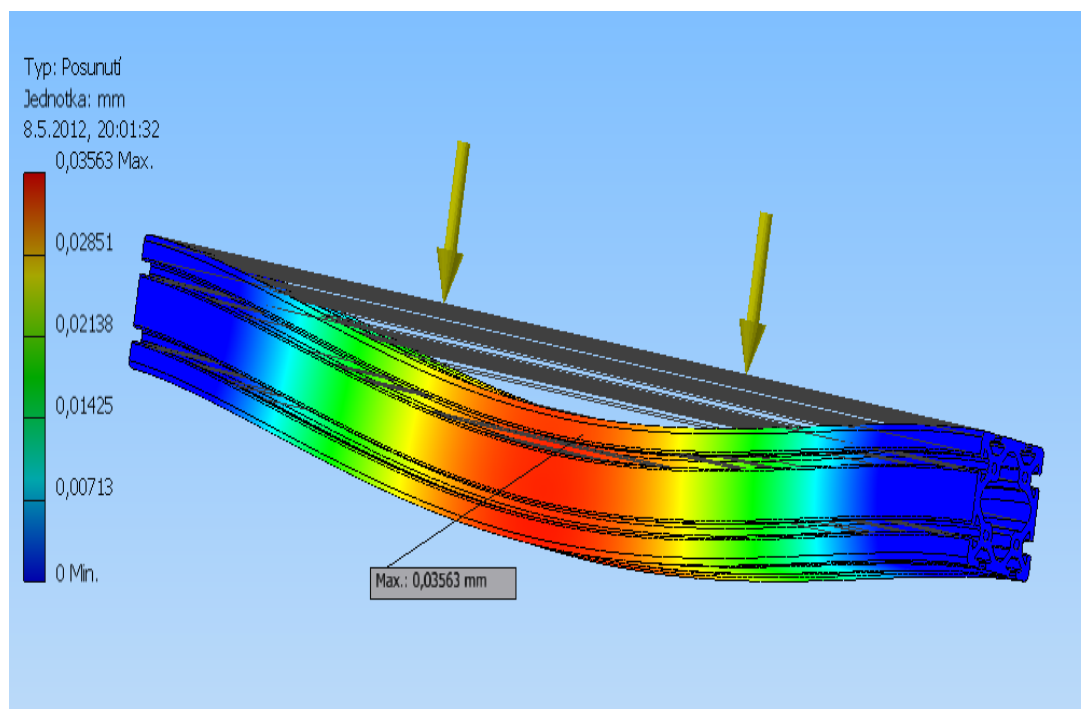
$$W_2(x) = -\frac{1}{E \cdot J_y}\left(M_f \cdot \frac{x^2}{2} + R_f \cdot \frac{x^2}{2} \cdot l_1 + c_3 \cdot x + c_4\right) \quad (78)$$

$$\text{Z o.p. } W_1(l_1) = W_2(l_2) \text{ a } W_1'(l_1) = W_2'(l_2) \text{ vychází } \mathbf{c_3 = -\frac{1}{2} \cdot R_f \cdot l_1^2, c_4 = R_f \cdot \frac{l_1^3}{6}} \quad (79)$$

Největší průhyb nastane v polovině nosníku tj. $(l_1 + l_2/2)$

$$W_{\max} = -\frac{1}{E \cdot J_y}\left(M_f \cdot \frac{(l_1 + l_2/2)^2}{2} + R_f \cdot \frac{(l_1 + l_2/2)^2}{2} \cdot l_1 + c_3 \cdot (l_1 + l_2/2) + c_4\right) \quad (80)$$

$$\mathbf{W_{\max} = 0,038 \text{ mm}} \quad (81)$$



Obr. 31 Metoda Konečných Prvků – Nosník II

$$\sigma_{\text{omax}} = \frac{M_{\text{max}}}{W_o} = \frac{73,2}{46920000} = \mathbf{1,56 \text{ MPa}} \quad (82)$$

$$\sigma_{\text{omax}} < \sigma_{\text{dov}} \Rightarrow \mathbf{VYHOVUJE} \quad (83)$$

5.6 Kontrola šroubových spojů

5.6.1 Šroubový spoj 1

Kontrolován bude šroubový spoj M8 na smyk mezi posuvným nosníkem a základním rámem zařízení. Za chodu motoru jsou více namáhány spoje na nosníku zatíženy reakcí R_b , proto budou kontrolovány tyto šrouby.

Zadané hodnoty

Materiál ocel - 11 500

$k_w = 1,3$	$F_c = 6667,2 \text{ N}$	$i_s = 8 \text{ š.}$
$R_m = 500 \text{ MPa}$	$k_p = 1,3$	$f = f_z = 0,2$
$d_o = 9 \text{ mm}$	$d_k = 13 \text{ mm}$	

Předpětí spoje

$$F_Q = \frac{k_w \cdot F_c}{i_s \cdot f} = \frac{1,3 \cdot 6667,2}{8 \cdot 0,2} = \mathbf{5417,1 \text{ N}} \quad (84)$$

Minimální průměr závitu d_3

$$R_e = 0,6 \cdot R_m = \mathbf{300 \text{ MPa}} \quad (85)$$

$$\sigma_{dt} = \frac{R_e}{k_p} = \frac{300}{1,3} = \mathbf{230 \text{ MPa}} \quad (86)$$

$$\tau_d = 0,6 \cdot \sigma_{dt} = 0,6 \cdot 230 = \mathbf{138 \text{ MPa}} \quad (87)$$

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot F_Q}{\pi \cdot \tau_{ds}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5417,1}{\pi \cdot 138}} = 7,06 \text{ mm} \Rightarrow \mathbf{\text{ŠROUB M8x1 VYHOVUJE}} \quad (88)$$

Kontrola samosvornosti

$$M_{zp} = \frac{1}{2} \cdot d_2 \cdot F_Q \cdot \tan(\varphi_z' - \gamma) \quad (89)$$

$$\gamma = \arctan\left(\frac{P_h}{\pi \cdot d_2}\right) = \arctan\left(\frac{1}{\pi \cdot 7,35}\right) = \mathbf{2,479^\circ} \quad (90)$$

$$\varphi_z' = \arctan\left(\frac{f_z}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\right) = \arctan\left(\frac{0,2}{\cos\left(\frac{60}{2}\right)}\right) = \mathbf{13^\circ} \quad (91)$$

$$M_{zp} = \mathbf{3,7 \text{ N.m}} \quad (92)$$

$$M_{zp} > 0 \Rightarrow \mathbf{PODMÍNKA SAMOSVORNOSTI SPLNĚNA} \quad (93)$$

Utahovací moment

$$M_u = M_{up} + M_{uz} \quad (94)$$

$$M_{uz} = \frac{1}{2} \cdot d_2 \cdot F_Q \cdot \tan(\varphi_z' + \gamma) = \frac{1}{2} \cdot 0,00735 \cdot 5417,1 \cdot \tan(15,479) = \mathbf{5,5 \text{ N.m}} \quad (95)$$

$$M_{up} = F_Q \cdot \frac{d_o + d_k}{2} \cdot f = 5417,1 \cdot \frac{0,009 + 0,013}{2} \cdot 0,2 = \mathbf{11,9 \text{ N.m}} \quad (96)$$

$$M_u = \mathbf{17,4 \text{ N.m}} \quad (97)$$

Minimální počet činných závitů v matici

$$z = \frac{F_Q}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot p_D} = \frac{5417,1}{\pi \cdot 0,00735 \cdot 0,0005415 \cdot 90 \cdot 10^6} = 4,81 \text{ z.} \Rightarrow \mathbf{5 \text{ závitů}} \quad (98)$$

$$H_1 = \frac{d - D_1}{2} = \frac{8 - 6,917}{2} = \mathbf{0,5415 \text{ mm}} \quad (99)$$

$$P_D = 90 \text{ MPa} \Rightarrow (\text{Strojnické tabulky str. 305}) \quad (100)$$

Minimální výška matice

$$m = z \cdot P = 5 \cdot 1 = \mathbf{5 \text{ mm}} \Rightarrow \mathbf{VYHOVUJE} \quad (101)$$

5.6.2 Šroubový spoj 2

V tomto případě bude provedena kontrola kotvicích šroubů M20 na tah, které spojují celé upevňovací zařízení včetně usazeného motoru se základní deskou.

Zadané hodnoty

Materiál ocel - 11 500

$$\begin{array}{lll} k_w = 1,3 & F_c = 11084,7 \text{ N} & i_s = 4 \text{ š.} \\ R_m = 500 \text{ MPa} & k = 1,3 & f = f_z = 0,2 \\ d_o = 21 \text{ mm} & d_k = 36 \text{ mm} & E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Pa} \\ \psi = 0,3 & & \end{array}$$

Síla působící na jeden šroub

$$F = \frac{F_c}{i_s} = \frac{11084,7}{4} = \mathbf{2771,2 \text{ N}} \quad (102)$$

$$F_s = F_p + F = F \cdot \psi + F = 2771,2 \cdot 0,3 + 2771,2 = \mathbf{3602,56 \text{ N}} \quad (103)$$

Minimální průměr závitu d_3

$$R_e = 0,6 \cdot R_m = \mathbf{300 \text{ MPa}} \quad (104)$$

$$\sigma_{dt} = \frac{R_e}{k} = \frac{300}{1,3} = \mathbf{230 \text{ MPa}} \quad (105)$$

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot F_s}{\pi \cdot \sigma_{dt}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3602,56}{\pi \cdot 230}} = 4,47 \text{ mm} \Rightarrow \mathbf{\check{S}ROUB \text{ VYHOVUJE}} \quad (106)$$

Předpětí spoje

$$F_Q = F_s \cdot \left(\psi + \frac{k_p}{k_p + k_s} \right) = 2771,2 \cdot \left(0,3 + \frac{1,05 \cdot 10^{10}}{9,85 \cdot 10^8 + 1,05 \cdot 10^{10}} \right) = \mathbf{3325,4 \text{ N}} \quad (107)$$

$$k_s = \frac{S_s \cdot E}{l_s} = \frac{0,00024 \cdot 2,1 \cdot 10^{11}}{52} = 9,85 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad (108)$$

$$k_p = \frac{S_p \cdot E}{l_p} = \frac{0,0026 \cdot 2,1 \cdot 10^{11}}{0,052} = 1,05 \cdot 10^{10} \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad (109)$$

$$l_s = l_p \quad (110)$$

$$S_p = \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_o^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (0,062^2 - 0,021^2) = \mathbf{0,0026 \text{ m}^2} \quad (111)$$

$$d_n = d_k + \frac{l_p}{2} = 36 + \frac{52}{2} = \mathbf{62 \text{ mm}} \quad (112)$$

$$\frac{1}{S_s} = \frac{\sum_{m=1}^n l_m}{\sum_{m=1}^n S_m \cdot l_s} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 15 + 52 + \frac{1}{3} \cdot 18}{\frac{\pi \cdot 20^2}{4} \cdot 52} = 0,0041 \text{ mm}^2 \Rightarrow S_s = \mathbf{0,00024 \text{ m}^2} \quad (113)$$

Kontrola samosvornosti

$$M_{zp} = \frac{1}{2} \cdot d_2 \cdot F_Q \cdot \tan(\varphi_z' - \gamma) \quad (114)$$

$$\gamma = \arctan\left(\frac{P_h}{\pi \cdot d_2}\right) = \arctan\left(\frac{1}{\pi \cdot 19,35}\right) = \mathbf{0,942^\circ} \quad (115)$$

$$\varphi_z' = \arctan\left(\frac{f_z}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\right) = \arctan\left(\frac{0,2}{\cos\left(\frac{60}{2}\right)}\right) = \mathbf{13^\circ} \quad (116)$$

$$M_{zp} = \mathbf{6,87 \text{ N.m}} \quad (117)$$

$$M_{zp} > 0 \Rightarrow \mathbf{PODMÍŇKA SAMOSVORNOSTI SPLNĚNA} \quad (118)$$

Utahovací moment

$$M_u = M_{up} + M_{uz} \quad (119)$$

$$M_{uz} = \frac{1}{2} \cdot d_2 \cdot F_Q \cdot \tan(\varphi_z' + \gamma) = \frac{1}{2} \cdot 0,01935 \cdot 3325,4 \cdot \tan(13,942) = \mathbf{8 \text{ N.m}} \quad (120)$$

$$M_{up} = F_Q \cdot \frac{d_o + d_k}{2} \cdot f = 3325,4 \cdot \frac{0,021 + 0,036}{2} \cdot 0,2 = \mathbf{18,95 \text{ N.m}} \quad (121)$$

$$M_u = \mathbf{26,95 \text{ N.m}} \quad (122)$$

Minimální počet činných závitů v matici

$$z = \frac{F_Q}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot p_D} = \frac{3325,4}{\pi \cdot 0,01935 \cdot 0,0005415 \cdot 90 \cdot 10^6} = 1,2 \text{ z.} \Rightarrow \mathbf{2 \text{ závity}} \quad (123)$$

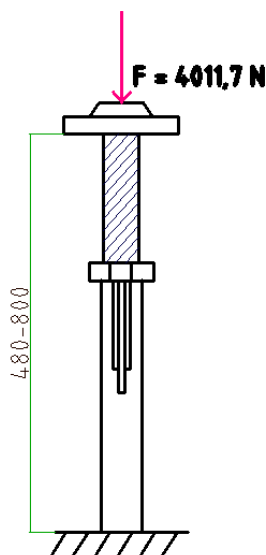
$$H_1 = \frac{d - D_1}{2} = \frac{20 - 18,917}{2} = \mathbf{0,5415 \text{ mm}} \quad (124)$$

$$P_D = 90 \text{ MPa} \Rightarrow (\text{Strojnické tabulky str. 305}) \quad (125)$$

Minimální výška matice

$$m = z \cdot P = 2 \cdot 1 = \mathbf{2 \text{ mm}} \Rightarrow \mathbf{VYHOVUJE} \quad (126)$$

5.7 Kontrola výškově stavitelné podpory na vzpěr



Obr. 32 – Schéma k výpočtu 12

$$J_{\min} = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 0,042^4}{64} = \mathbf{15,27 \cdot 10^{-8} \text{ m}} \quad (127)$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,042^2}{4} = \mathbf{1,385 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2} \quad (128)$$

$$i = \sqrt{\frac{J_{\min}}{S}} = \sqrt{\frac{15,27 \cdot 10^{-8}}{1,385 \cdot 10^{-3}}} = \mathbf{0,0105 \text{ m}} \quad (129)$$

$$L_{\text{krit}} = 2 \cdot L = 2 \cdot 0,6 = \mathbf{1,2 \text{ m}} \quad (130)$$

$$\lambda = \frac{L_{\text{krit}}}{i} = \frac{1,2}{0,0105} = \mathbf{114,28} \quad (131)$$

$$\lambda \geq \lambda_{\text{m}} \Rightarrow \mathbf{VÝPOČET DLE EULERA VYHOVUJE}$$

$$F_{\text{krit}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{\text{min}}}{L_{\text{krit}}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 15,27 \cdot 10^{-8}}{1,6^2} = \mathbf{219,78 \text{ kN}} \quad (132)$$

$$k = \frac{F_{\text{krit}}}{F} = \frac{123628}{4011,7} = \mathbf{31} \quad (133)$$

$$\sigma_{\text{krit}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot i^2}{L_{\text{krit}}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,0105^2}{1,2^2} = \mathbf{158,7 \text{ MPa}} \quad (134)$$

6. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukcí mobilního upevňovacího rámu pro pístové spalovací motory o zdvihovém objemu $3 - 6 \text{ dm}^3$, která urychlí zástavbu k motorové brzdě a jeho připojení k chladicímu okruhu a přívodu pohonných hmot. Ne příliš často vídaným požadavkem bylo zajištění pohyblivosti celé konstrukce a její možné přestavění na jiný motor ve výše určeném zdvihovém objemu.

Mobilnost celé konstrukce byla vyřešena pomocí kladek, které se nacházejí na mechanismu, jenž umožňuje vysunutí kladek pro pohyb po zkušební laboratoři, či zasunutí pro ukotvení k základní desce. Zařízení se pohybuje po kolečkách, jejichž radiální průměr je 80 mm. Disponují také nosností, která je bez problémů schopna unést motor v rozsahu $3 - 6 \text{ dm}^3$. Na základním rámu zařízení se nachází výškově stavitelné podpory, které jsou realizovány pomocí závitových tyčí. Právě tyto tyče zajišťují onu požadovanou univerzálnost. Umožňují nastavení jak v horizontálním, tak i vertikálním směru. Na podporách se nachází silentbloky, na které se upne měřený spalovací motor. Celé upevňovací zařízení je pomocí kotvicích šroubů spojeno se základní deskou.

Celá konstrukce byla zkontrolována pevnostním výpočtem pro motor Cummins ISBe 150, které se nachází v laboratoři katedry vozidel a motorů. Z těchto výpočtů vyplývá, že zvolený materiál pro konstrukci upevňovacího zařízení vyhovuje.

Mobilní upevňovací zařízení by se mělo skutečně vyrobit a používat v nové laboratoři pohonných jednotek CxI – TUL. Předpokládané motory pro usazení na tuto stolicí jsou Zetor 1505 a Cummins ISBe 150. Touto konstrukcí dojde k celkovému zjednodušení, zefektivnění a zkrácení montážních časů výměny pístových spalovacích motorů.

Seznam použité literatury

1. BARTONÍČEK, L. *Konstrukce pístových spalovacích motorů*. 2. Přepřacované vydání, Liberec, 1992
2. PUSTKA, Z. *Základy konstruování (Tvorba technické dokumentace)*. Liberec, 2004
3. MEVALD, J. *Pružnost a pevnost*. Liberec, 1979
4. LEINVEBER, J. – VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 4. doplněné vydání, Úvaly, 2008
5. PEŠÍK, L. *Části strojů 1. díl*. Liberec, 2010
6. PEŠÍK, L. *Části strojů 2. díl*. Liberec 2010
7. ITEM 7 [online], [24.5.2012]
Dostupné na internetu
http://www.haberkorn.cz/files/file/system-hlinikovych-profilu/ke-stazeni/MB7_CZ.pdf
8. Kladky BLICKLE [online], [24.5.2012]
Dostupné na internetu
<http://www.blickle.cz/28/produkte/L-G-80G-FI.html>
9. Parametry motoru Zetor 1505 [online], [24.5.2012]
Dostupné na internetu
<http://www.zetor.cz/motory-z-1504-z-1505>
10. Parametry motoru Cummins ISBe 150 [online], [24.5.2012]
Dostupné na internetu
http://cumminsengines.com/every/applications/euro_truck_bus/isbe.page?
11. Katalog silentbloků Contitech Megi [online], [24.5.2012]
Dostupné na internetu
<http://www.tyma.cz/produkty/kola-valecky-plasty/silentbloky-contitech-schwingmetall/>
12. Froude Hofmann [online], [24.5.2012]
Dostupné na internetu
http://ai.spirahellic.com/Froude_Hofmann/product_7.htm
13. Dynamometer [online], [24.5.2012]
Dostupné na internetu
<http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamometer>

Seznam příloh

Příloha P1: Model mobilního upevňovacího zařízení

Seznam výkresové dokumentace

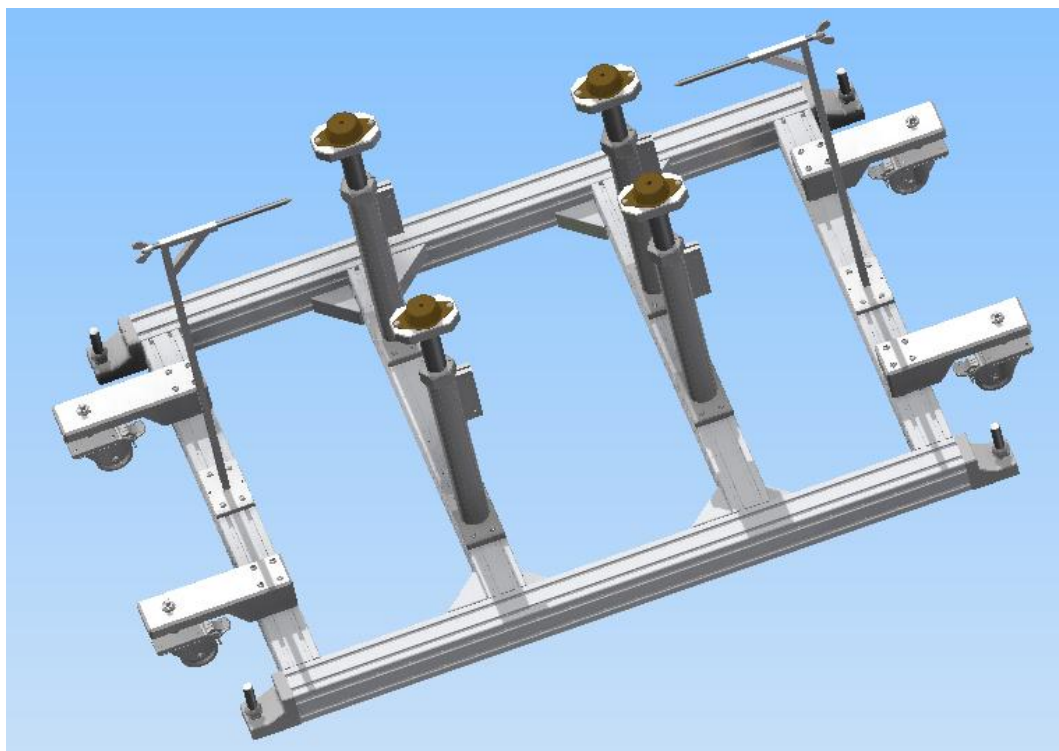
Číslo přiložených výkresů:

A0 – KVM – BP – 279 – 00
A3 – KVM – BP – 279 – 00 – 01
A3 – KVM – BP – 279 – 00 – 02
A4 – KVM – BP – 279 – 00 – 03
A3 – KVM – BP – 279 – 00 – 04
A3 – KVM – BP – 279 – 00 – 05
A3 – KVM – BP – 279 – 00 – 06
A3 – KVM – BP – 279 – 00 – 07
A3 – KVM – BP – 279 – 01 – 01
A3 – KVM – BP – 279 – 02 – 01
A3 – KVM – BP – 279 – 03 – 01
A3 – KVM – BP – 275 – 04 – 01

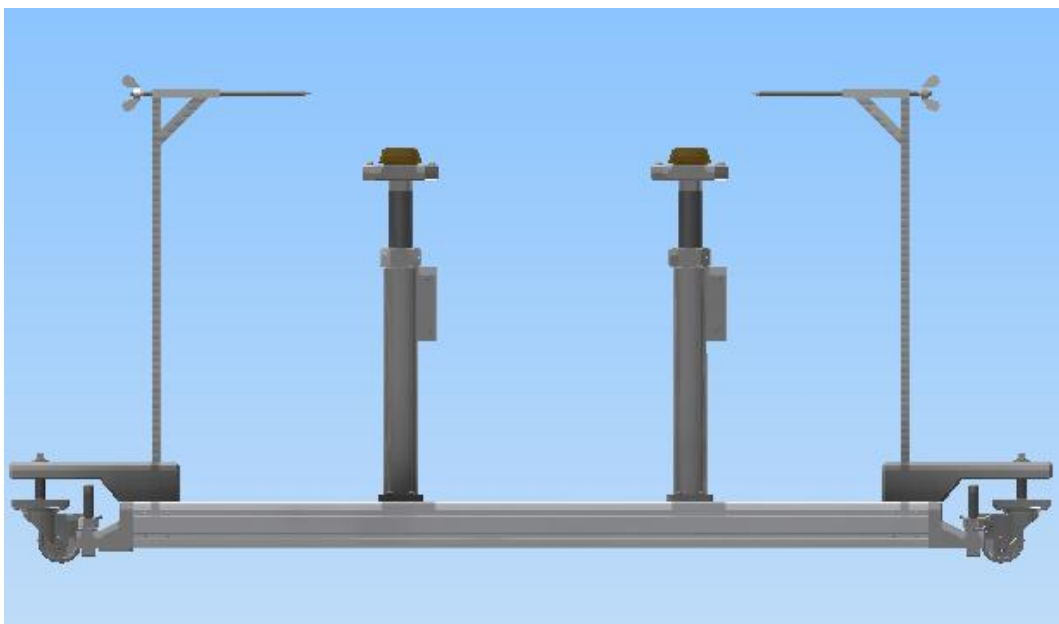
Obsah přiloženého CD

Složka	Obsah	formát souborů
[TEXT]	Text bakalářské práce	(.pdf)
[VÝKRESY]	Výkresová dokumentace	(.pdf)
[CAD DATA]	Vytvořené modely	(.step)
[OBRÁZKY]	Obrázky použité v práci	(.jpeg)
[PŘÍLOHY]	Přílohy k práci	(.pdf)

PŘÍLOHA P1



Mobilní upevňovací zařízení [vytvořeno autorem]



Mobilní upevňovací zařízení [vytvořeno autorem]